

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Université 8 Mai 1945 – Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf : ...../2022



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Electromécanique

**Spécialité/Option** : Electromécanique

**Par** : MAHDJOUR Alaedine & TAIBI Achraf

### Thème

---

**Étude de la fiabilité d'une pompe centrifuge type 300/LNN 750 pour  
circuit de refroidissement d'un cylindre de laminoir à chaud (LAC)**

---

Soutenu publiquement, le 15/06/2022, devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> . DJEBALA Abderrazek	Professeur	Univ. Guelma	Président
Mr FRIHI Djamel	MCA	Univ. Guelma	Encadreur
M <sup>me</sup> FRIQUI Nadia	MCB	Univ. Guelma	Examineur
M <sup>me</sup> BOUCERREDJ Leila	MCA	Univ. Guelma	Examineur

**Année Universitaire : 2021/2022**

# *Remerciements*

*Tout d'abord, nous remercions Dieu tout-puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté d'atteindre tous nos objectifs, et tous les enseignants qui ont contribué à notre composition dans tous les cycles.*

*Nous tenons à remercier avec une gratitude particulière*

*A Notre encadreur **Dr. Djamel FRIHI***

*Qui nous a guidés, encouragés et soutenus tout au long de notre travail.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury de nous avoir fait l'honneur d'avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*Nous tenons à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'accomplissement de notre travail.*

*Nous remercions également aux responsables de LAC, et les responsables de SIDER EL-HADJAR et à leurs têtes **Mr. Youcef Rerari***

*Merci beaucoup*

## *Dédicaces*

*Avant tous, je remercie DIEU le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce Travail malgré toutes les difficultés rencontrées.*

*Je dédie ce mémoire à mes très cher parents pour leurs soutient morale et financier dans les moments les plus ardu.*

*Je dédié ce modeste travail à :  
Ma très chère mère et mon père,  
Mes frères.*

*A mes amis et mes collègues de la promotion 2022  
« Électromécanique ».  
A mes féaux amis (chacun à son nom).*

*A tout ce qui m'ont aidé de loin ou de prés durant les moments difficiles.*

***Mahdjoub Alaedine***

# *Dédicaces*

*Avant tous, je remercie mon **DIEU** le tout-puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce Travail malgré toutes les difficultés rencontrées.*

*Je dédie ce mémoire à mes très cher parents (Salah et Laabadi **r**) pour leurs soutient morale et financier dans les moments les plus difficiles.*

*Je dédié ce modeste travail à :  
Ma très chère mère et mon père,  
Mes frères.*

*A mes amis et mes collègues de la promotion 2022  
« Électromécanique ».  
A mes féaux amis (chacun à son nom).*

*A tout ce qui m'ont aidé de loin ou de prés durant les moments difficiles.*

***Achraf Taibi***

## **Résumé :**

L'étude faite, dans ce mémoire, suite à un stage pratique au sein du complexe **SIDER EL-HADJAR** ANNABA, s'articule essentiellement sur une étude de fiabilité d'une installation de refroidissement, il s'agit d'une **pompe centrifuge** désignée par **300/LNN750**. Afin de mieux situer le rôle du service maintenance, nous avons préféré entamé notre travail par une étude critique de la politique de maintenance touchant les points faibles de ce service (Laminoir à Chaud : **LAC**) pour lequel des propositions d'amélioration ont été suggéré et cela par l'emploi du questionnaire de **LAVINA**. L'exploitation de l'historique de pannes, de la pompe centrifuge, fourni par le service maintenance, nous a permis de faire deux études complémentaires à savoir qualitative et quantitative. Du point de vue quantitatif, par application de la méthode **ABC** de **Pareto** ainsi que la détermination des paramètres du modèle de **Weibull**, nous avons pu connaître la phase de vie de la pompe ainsi que les éléments pour lesquels les agents de maintenance doivent donner plus d'importance. Etant donné que la pompe est en phase de maturité ; et pour pouvoir augmenter la longévité de cette phase tout en gardant stable le taux de défaillances, dont l'augmentation avec l'âge n'est pas toujours une chose fatale, nous avons fait une étude qualitative de la pompe centrifuge par le biais de deux techniques de prévention des défaillances qui sont l'**arbre de défaillances** et l'analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (**AMDEC**). Ces méthodes précieuses nous ont aidés à identifier les modes de défaillances des principaux organes de pompes (arbre, garnitures, roue à aubes, bagues d'étanchéité et différents paliers...etc.) tout en évaluant leur criticité sur la sureté de fonctionnement.

**Mots clés :** ABC de PARETO, Pompe centrifuge, 300/LNN750, Risques de défaillances, FMD, Questionnaire de Lavina, Etude quantitative, Weibull, Etude qualitative, AMDEC, Arbre de défaillance.

## المخلص :

الدراسة التي تم إجراؤها في هذه الرسالة، بعد تدريب عملي داخل مجمع **SIDER EL-HADJAR** عنابة , تعتمد بشكل أساسي على دراسة موثوقة لتركييب يستخدم في عملية التبريد ، ويتعلق الامر بمضخة الطرد المركزي **300/LNN750**.

من اجل فهم دور قسم الصيانة بشكل أفضل، فضلنا ان نبدأ العمل بدراسة نقدية لسياسة الصيانة والتي تهدف الى ملامسة نقاط الضعف في تلك الخدمة التي تم من خلالها وضع بعض المقترحات من اجل تحسينها وذلك باستخدام

## استبيان الفينا

استطعنا باستخدام تاريخ فشل واحدة من **مضخات طرد مركزي** المستخدمة في عملية التبريد، المقدمة من

قسم الصيانة، من إجراء دراستين متكاملتين، **نوعياً وكمياً**.

من وجهة نظر كمية، من خلال تطبيق طريقة **ABC لباريتو** وكذلك تحديد معايير نموذج **(وايبول)**،

تمكنا من معرفة مرحلة حياة المضخات وكذلك العناصر التي يجب على مصالح الصيانة إعطائها أهمية أكبر.

نظرا لأن المضخات متقدمة ولكي تكون قادرة على تقليل معدل الاعطال، فإن زيادتها مع تقدم العمر لا تكون

دائما أمرا حتميا، قمنا بإجراء دراسة نوعية لمضخات الطرد المركزي من خلال تقنيتي منع الفشل وهي شجرة الفشل

وأنماط الفشل والتأثيرات وتحليل الأهمية (AMDEC)

لقد ساعدتنا هذه الأساليب القيمة في تحديد أنماط فشل مكونات المضخة الرئيسية (العمود، المكره، حلقات

الكتامة، وما الى ذلك) اثناء تقييم أهميتها على السلامة التشغيلية.

## الكلمات المفتاحية:

استبيان الفينا، دراسة كمية، وايبول، دراسة نوعية، تحليل أنماط الفشل واثارها وأهميتها , شجرة الفشل.

**Abstract :**

The study carried out in this thesis, following a practical internship within the LAC SIDER EL-HADJAR of Annaba, is essentially based on a reliability study of a strategic installation of cooling process; it is about centrifugal pumps designated 300/LNN750.

In order to better understand the role of the maintenance department, we preferred to start our work by critical study of the maintenance policy touching the weak points of this service for which Improvement proposals have been suggested and this by using the LAVINA questionnaire.

The use of the failure history of three centrifugal pumps, provided by the maintenance department, enabled us to carry out two additional studies, namely qualitative and quantitative.

From a quantitative point of view, by application of the ABC method of Pareto as well as the determination of the parameters of the Weibull model, we were able to know the phase of life of the various pumps as well as the elements for which maintenance agents must give more importance.

Since the pumps are in old age and to be able to reduce the rate failures, the increase of which with age is not always a fatal thing, we have conducted a qualitative study of centrifugal pumps through three-prevention techniques failure, which are the failure tree, Failure Mode, Effects & Criticality Analysis (FMECA) .

These valuable methods have helps us to identify the failure modes of main pump components (shaft, paddle wheel, sealing rings and various bearings, etc.) while evaluating their criticality on operational safety.

**Keywords :**

Risks of failures, Lavina questionnaire, Quantitative Study, Weibull, Qualitative Study, FMEA .

## Liste des figures

### Chapitre I

Figure.I.1: Situation géographique.....	2
Figure.I.2 : Train de laminage.....	8
Figure.I.3 : Parc des brames.....	9
Figure.I.4 : Bruleur.....	9
Figure.I.5 : Thermocouple.....	9
Figure.I.6 : Brise oxyde.....	10
Figure.I.7 : Cage quarto.....	10
Figure.I.8 : Cage quarto.....	11
Figure.I.9: Décalaminage de brame.....	11
Figure.I.10: Train finisseuse (6 cages).....	12
Figure.I.11: Cage de finisseur.....	12
Figure.I.12: Bobine.....	13
Figure.I.13 : Système de refroidissement.....	14
Figure.I.14 : Radar de la méthode Lavina.....	30

### Chapitre II

Figure.II.1 : Les types de maintenance.....	37
Figure.II.2 : Les niveaux de la maintenance .....	39
Figure.II.3 : Le diagramme d'Ishikawa.....	40
Figure.II.4: Classement des méthodes de l'analyse des risques.....	45
Figure.II.5 :Types de fiabilité.....	46
Figure.II.6 : Courbe en baignoire (vie d'un matériel) .....	47
Figure.II.7 : Courbe en baignoire (Politique de maintenance).....	48
Figure.II. 8 : Fonction densité de probabilité de défaillance.....	49
Figure.II.9 : Fonction associée de fiabilité et de défaillance.....	49
Figure.II.10 : Hiérarchisation des fonctions.....	52

### Chapitre III

Figure.III.1 : LNN Buses horizontales d'aspiration et de refoulement (en ligne) .....	54
Figure.III.2 : Les principaux composants de la pompe .....	55
Figure.III.3 :Schéma présentent le placement de la pompe .....	56
Figure.III.4 : La pompe G29 .....	56
Figure.III.5 : La pompe G30 .....	56
Figure.III.6 : La pompe G31 .....	56
Figure.III.7 : Système refroidissement.....	57
Figure.III.8 Evolution des coûts en fonction de l'augmentation de la fiabilité.....	61
Figure.III.9 Courbe en baignoire.....	62
Figure.III.10 :Représentation des MTBF en fonction du temps (périodes). .....	66
Figure.III.11 : Représentation des taux de défaillance.....	68
Figure.III.12 Représentation des MTTRi.....	70

Figure.III.13 Représentation des taux de réparation.....	72
Figure.III.14 Représentation des disponibilités.....	73
Figure.III.15 Représentation de Pareto du 300/LNN750.....	75
Figure.III.16 Papier de Weibull et les différents paramètres appliqué sur la pompe centrifuge .....	77
Figure.III.17 Fonction de fiabilité R(t).....	79
Figure.III.18 Fonction de défaillance F(t).....	79
Figure.III.19 Densité de probabilité de défaillance f(t).....	80
Figure.III.20 : Le taux de défaillance $\lambda(t)$ .....	81

## Chapitre IV

Figure.VI.1 : Type de pompe .....	83
Figure.VI.2 : Pompe centrifuge à refoulement radial .....	84
Figure.VI. 3 : Pompe volumétrique à engrenage .....	84
Figure.VI. 4 : Composants d'une pompe centrifuge .....	85
Figure.VI.5 : principe de fonctionnement .....	86
Figure.VI. 6 : Photo réelle de la pompe centrifuge 300/LNN 750 .....	87
Figure.VI. 7 : Les principaux constituants de la pompe centrifuge .....	88
Figure.VI.8 : Analyse fonctionnelle de la pompe centrifuge 300/LNN750 .....	91
Figure.VI. 9 : Arbre de défaillance du mode « Surchauffe et grippage de la pompe ».....	94
Figure.VI. 10 : Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie des roulements » .....	94
Figure.VI. 11 : Arbre de défaillance du mode « La pompe vibre ou est bruyante » .....	95
Figure.VI. 12 : Arbre de défaillance du mode « Fuite excessive de la garniture mécanique.....	95
Figure.VI. 13 : Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie de la garniture mécanique.....	96
Figure.VI. 14 : Arbre de défaillance du mode « Désamorçage de la pompe a près démarrage ».....	96
Figure.VI. 15 : Arbre de défaillance du mode « Débit insuffisant ».....	97
Figure.VI. 16 : Arbre de défaillance du mode « Débit nul » .....	97
Figure.VI. 17 : Arbre de défaillance du mode «Puissance absorbé par la pompe excessive»	98
Figure.VI. 18 : Arbre de défaillance du mode « Pression de refoulement insuffisante » .....	98

## Liste des tableaux

### Chapitre I

Tableau.I.1 : Les unités de l'entreprise .....	4
Tableau.I.2: Produits du complexe.....	5
Tableau.I.3 : Dimension des produits fabriqués.....	8
Tableau. I. 4 : Résultats du diagnostic .....	29
Tableau.I.15: Propositions d'améliorations.....	30

### Chapitre II

Tableau.II.1 : Les tâches de fonctionnement de service maintenance.....	47
---	----

### Chapitre III

Tableau.III.1: plaque signalétique de la pompe .....	55
Tableau.III.2 : Dossier historique de pompe 300/LNN750.....	58
Tableau.III.3 : Les TBF de la pompe 300/LNN750.....	65
Tableau.III.4 : Les MTBF de la pompe.....	66
Tableau.III.5 : Les taux de défaillances .....	67
Tableau.III.6 : Les TTR de la pompe .....	69
Tableau.III.7 : Les MTTR de la pompe.....	70
Tableau.III.8 : Les Taux de réparation.....	72
Tableau.III.9 : Les disponibilités de la pompe .....	73
Tableau.III.10 : La Méthode Pareto Pompe Centrifuge 300/LNN750.....	75
Tableau.III.11 : Les MTBF de la pompe.....	76
Tableau.III.12 : Calcule les paramètres de WUIBLL .....	78
Tableau.III.13 : résultats de l'étude de fiabilité de la pompe .....	84

### Chapitre IV

Tableau.VI. 1 : Déchiffre de schéma technique de la pompe centrifuge 300/LNN750.....	90
Tableau.VI. 2 : Cause à effet de pompe centrifuge 300/LNN 750.....	92
Tableau.VI. 3 : Suite tableau 2.....	93
Tableau.VI. 4 : Grille AMDEC du pompe 300/LNN 750.....	101
Tableau.VI. 5 : Evaluation de la criticité du la pompe centrifuge 300/LNN750.....	102
Tableau.VI. 6 : Entretien courant des pompes 300/LNN750 .....	104

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b>	<b>01</b>
------------------------------	-----------

## **Chapitre I. Entreprise d'accueil et politique de maintenance**

CHAPITRE I.....	2
I.1. Introduction.....	2
I.2. Description de l'entreprise.....	2
I.2.1. Situation géographique.....	2
I.2.2. Historique de l'entreprise : (IMITAL SIDER D'El-Hadjar).....	2
I.2.3. Les unités de l'entreprise .....	2
I.2.4. Produits du complexe .....	2
I.2.5. La marche du Production.....	5
I.2.6. Nouvelle organisation de l'entreprise .....	6
I.2.7. REPRESENTATION DE L'UNITE (LAC).....	7
I.3. Evaluation de la politique de maintenance existante dans l'entreprise.....	15
I.3.1. Introduction.....	15
I.3.2. Méthodologie.....	15
I.3.3. La démarche de LAVINA.....	15
I.3.4. Le déroulement du diagnostic.....	15
I.4. Mise en pratique de la méthode de LAVINA à l'entreprise LAC.....	16
I.4.1 RESULTATS DU DIAGNOSTIC.....	29
I.4.2. Analyse des résultats.....	30
Conclusion.....	31

## **Chapitre II. Maintenance Concepts fondamentaux**

CHAPITRE II.....	32
II-1 : INTRODUCTION.....	32
II-2. La maintenance :.....	32
II.2.1. Généralités :.....	32
II.2.2. Historique :.....	32
II.2.3. Définition de la maintenance : .....	32
II.2.4. Rôle de la maintenance :.....	33
II.2.5. Les objectifs de la maintenance : Deux types peuvent être distingués.....	33
II.2.6. Types de la maintenance :.....	33
II.2.7. Les opérations de la maintenance :.....	36

II.2.8. Les cinq niveaux de maintenance :	37
II.2.9. Les outils de la maintenance :	39
II.2.10. Les documents de maintenance :	41
II.2.11. Le fonctionnement d'un service maintenance :	42
II.2.12 L'analyses des risques :	43
II.3. Analyse quantitative du risque :	45
II.3.1. Analyse de la fiabilité des équipements :	46
Existe plusieurs lois :	50
II.4. Analyse qualitative des risques :	51
II.5 Les objectifs de la maintenance :	52
II.5.1 Le rôle de la maintenance :	52
II.5.2 Le contrôle des coûts :	52
II.5.3 Influence de la maintenance :	53
Conclusion :	53

### **Chapitre III. Etude quantitative des pompes centrifuges 300/LNN750**

Chapitre III.....	54
III.1. Introduction.....	54
III.2. Description la pompe centrifuge type 300/LNN750.....	54
III.2.1. Les principaux composants de la pompe centrifuge 300/LNN750 :	55
III.2.2. Caractéristique technique du système :	55
III.3. Implantation et rôle de la pompe.....	56
III.3.1. Implantation de la pompe:.....	56
III.3.2. Rôle de la pompe 300/LNN750 :	56
III.4 Exploitation de l'historique [12] :	57
III.5. Etude statistique de l'historique des pannes de la pompe centrifuge (ETUDE FMD).....	59
III.5.1. Introduction.....	59
III.5.2 Généralités.....	59
III.5.3 application de l'analyse FMD pour l'étude du comportement de la pompe centrifuge.....	64
III.6 ETUDES DES PANNES PAR TYPES.....	73
III.6.1 Analyse prévisionnelle des dysfonctionnements « ABC Pareto ».....	73
III.6.2. Etude de la sûreté de fonctionnement de la pompe centrifuge « WEIBULL ».....	73
III.6.2.1 Présentation du logiciel FIABOPTIM.....	76
III.6.2.2 Application du modèle de WEIBULL .....	76

III.6.3. Récapitulation des résultats de l'étude de fiabilité de la pompe 300/LNN750 :.....	81
Conclusion.....	82

**Chapitre IV. Analyse qualitative par l'AMDEC, arbre de défaillances**

Chapitre IV.....	83
IV.1 Introduction :.....	83
IV.2 Généralités sur les pompes .....	83
IV.2.1 Type de pompes.....	83
IV.2.2 Définition de pompe centrifuge :.....	84
IV.2.3 Conception des principaux composants :.....	84
IV.3 Principe de fonctionnement :.....	85
IV.4 Critères de choix d'une pompe centrifuge .....	86
IV.5 : Avantages et inconvénients des pompes centrifuges .....	86
IV.6 : Analyse fonctionnelle de pompe 300/LNN 750 :.....	87
IV-7 : Cause à effet de pompe centrifuge 300/LNN 750 : .....	91
IV.8 Arbres de défaillances :.....	94
IV-9 : Exemple de l'AMDEC.....	99
IV.9.1 : Synthèse ou évaluation de la criticité .....	101
IV.10 : Programme de maintenance de la pompe centrifuge 300/LNN750 .....	102
IV.10.1 : Entretien courant :.....	103
Conclusion.....	105

# Introduction générale

---

## Introduction générale :

La maintenance est un facteur concurrentiel puisqu'il influe sur la production, la qualité et la dépense. Il est important d'augmenter l'espérance de vie et les actifs de l'entreprise. Il est devenu de plus en plus important et s'est avéré être l'une des fonctions clés de l'entreprise. Alors que les tendances vers un degré plus élevé d'automatisation et une complexité accrue de la machine ne font qu'accroître le besoin de l'entreprise d'une approche formelle et structurée de la fonction de maintenance.

Dans ce contexte, le rôle de la fonction maintenance prend une dimension encore plus importante. Elle permet d'augmenter la disponibilité et la fiabilité des équipements à la production, de réduire les pannes par des interventions périodiques et de contribuer à la réduction des accidents par le maintien adéquat du niveau de sécurité des équipements.

C'est ainsi que nous pouvons dire que l'amélioration de la production dépend de l'analyse quantitative et qualitative des systèmes de n'importe quelles entreprises industrielles. Ces techniques et méthodes d'analyse visent principalement à trouver des solutions techniques pour augmenter la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des équipements et en générale amélioré les performances des systèmes de production.

Dans ce contexte, et à travers le chapitre deux, nous avons abordé le concept de la maintenance ancienne et moderne et la différence entre le concept de l'entretien et celui de la maintenance.

Nous avons découvert que la maintenance a une grande importance dans le maintien de la sécurité des personnes et de l'équipement ainsi que de l'environnement.

Pour faciliter le travail des intervenants de la maintenance, plusieurs méthodes ont été développées (PARETO, PERT, TPM, AMDEC, DIAGRAMME d'ISHIKAWA.....etc.).

A cet effet, le travail réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en électromécanique, a fait l'objet d'une étude qualitative et quantitative des risques de défaillances d'une pompe centrifuge dont le rôle est prépondérant au milieu de la chaîne de production métallique dans le LAC (SIDER EL-HADJAR Annaba).

Cette étude nous a permis, également, d'évaluer des paramètres visant à optimiser La sûreté de fonctionnement de la pompe centrifuge **300/LNN750**.

## Introduction générale

---

Après présentation de l'entreprise d'accueil dans la première partie du chapitre **I**, où nous avons passé notre stage pratique, une étude critique de la politique de maintenance adoptée par le LAC a été faite par la méthode de Lavina dans la deuxième partie.

L'analyse quantitative, basée sur la méthode ABC de Pareto ainsi que le calcul des différents paramètres du modèle de **Weibull** ont été traités dans le troisième chapitre.

Une étude qualitative, complémentaire, l'arbre de défaillances et principalement l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) a été traitée dans le **IV** et le dernier chapitre.

## CHAPITRE I :

### Entreprise d'accueil et politique de maintenance

#### I.1. Introduction :

La description du complexe d'El-Hadjar a fait l'objet d'une présentation générale du complexe ont mettant en lumière d'une part les grands unités de production et les grands structures de soutien et d'autre donner un aperçu plus précis sur laminoir à chaud (LAC) tout en insistant sur la chaîne de production des bobines.de Fours poussant jusqu'à bobineuses.

#### I.2. Description de l'entreprise : [11]

##### I.2.1. Situation géographique :

Le complexe sidérurgique IMITAL SIDER d'El-Hadjar est situé à 15km au sud de Annaba en ALGERIE, Il occupe une superficie de 800 hectares dont :

- ✚ 300H pour les ateliers de production ;
- ✚ 300H pour le stockage ;
- ✚ 200H de service.

A l'intérieur il y a près de 60 KM de voie ferrée permettant la libre circulation des matières premières et près de 60 KM de voie permettant la circulation des engins (auto bus, camions, véhicules légères...etc.).

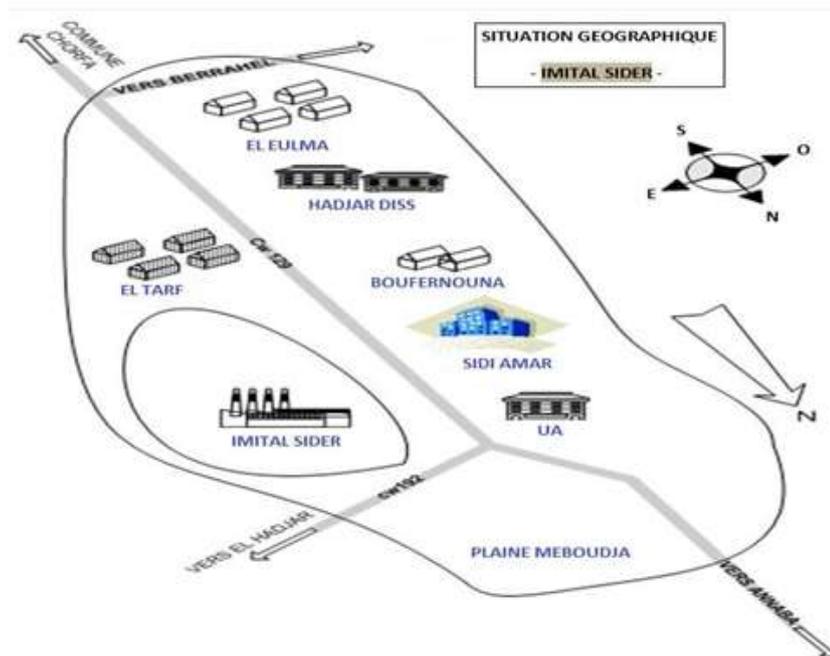


Figure.I.1: Situation géographique

#### I.2.2. Historique de l'entreprise : (IMITAL SIDER D'El-Hadjar)

##### I.2.2.1. Période coloniale :

Le projet de construction d'une usine sidérurgique Annaba a été inscrit en 1958 dans le plan de Constantine. Ce projet a vu la Création de la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) qui a été chargée de réaliser un haut fourneau et ses annexes

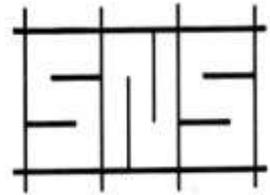
**1964, création de SNS :**



# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

Après l'indépendance, l'état algérien a créé, Le 03 Septembre 1964, le complexe sidérurgique d'El-Hadjar (SNS) Société Nationale de Sidérurgie

Première coulée : le complexe est entré en production (mise en service du haut fourneau n°=1 et des installations annexes) après son inauguration le 19 juin 1969 par le Président d'état Houari Boumediene.



Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar a vu la création des :

- 1972 : aciérie oxygène 1, laminoir à chaud.
- 1974 : laminoir à froid.
- 1975 : aciérie électrique.
- 1977 à 1980 : extension du complexe, pour augmenter ses capacités de production et crée d'autres unités :
  - Une aciérie à oxygène 2 ;
  - Un haut fourneau 2 ;
  - Un secteur d'agglomération ;
  - Une centrale thermique.

## 1983, création de SIDER :

En 1983, l'entreprise SIDER naît de la restructuration de la SNS, elle intègre principalement l'ensemble industriel du complexe sidérurgique d'El-Hadjar et le groupe commercial avec ses unités de conditionnement et son réseau de distribution couvrant l'ensemble du territoire algérien.



## I.2.2.2. 1999, création d'ALFASID :

Le recentrage sur les métiers de bases en application du plan de redressement interne (PRI) de l'ensemble de SIDER a donné naissance au groupe SIDER comprenant 24 filiales dont 14 sont issues du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

ALFASID -ALGERIENNE DE FABRICATION SIDERURGIOQUES- représente le cœur du métier de SIDER elle est sa filiale principale et la plus importante.



## I.2.2.3. ISPAT Annaba le 18.10.2001 :

Un contrat de partenariat entre SIDER représentée par holding SIDMINE et ISPAT international (groupe LNM) donne naissance à ISPAT Annaba. LNM détient 70% du capital social et SIDER 30%. Cette nouvelle société regroupe les filiales de SIDER liées au métier de base de la sidérurgie qui sont : ALFASID, ALMAIN, GESSIT, IMAN, AMM ISPAT Tébessa est créé à la même période. Elle est le résultat d'un partenariat entre LNM (70%) et SIDER (30%). Elle comprend les mines de fer d'Ouenza et de Boukhadra.

## I.2.2.4. Décembre 2004 MITTAL STEEL ANNABA :

L'entreprise ISPAT fusionne avec le groupe LNM, pour engendrer une nouvelle entreprise qui sera bien classé dans l'industrie mondiale devient MITTAL STEEL Annaba.



## I.2.2.5. Juin 2007, ARCELOR MITTAL ANNABA :

Résultat de la fusion entre MITTAL STEEL et ARCELOR entreprise international française



# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

## I.2.2.6. IMITTAL SIDER D'EL HADJAR:

Depuis décembre 2016 ARCELOR MITTAL ANNABA est devenu IMITTAL SIDER D'El-Hadjar



## I.2.3. Les unités de l'entreprise :

N <sup>0</sup>	Libellé complet	Libellé réduit
1	Laminoir à chaud	LAC
2	Laminoir à froid	LAF
3	Hauts fourneaux N <sup>0</sup> 2	HF1
4	Préparation matière	AC 01
5	Hauts fourneaux N <sup>0</sup> 1	COK
6	Aciérie à oxygène N <sup>0</sup> 1	AOK
7	Cokerie	COK
8	Agglomération	AGL
9	Revêtement parachèvement	RPA
10	Aciérie à oxygène N <sup>0</sup> 2	AC02
11	Laminoir à fil et ronds	LFR
12	Laminoir à rond à béton	LRB
13	Aciéries électrique	ACE
14	Laminage tubes sans soudures	LAT
15	Parachèvement TSS	PAT
16	Maintenance centrale mécanique	MCM
17	Climatisation, électrique et bâtiments	CEB
18	Maintenance et régulation électrique	MRE
19	Entretien matériel roulant	EMR
20	Maintenance AMM / ATCX	MAINT
21	Production et distribution électrique	PDE
22	Production et distribution oxygène	PDO
23	Fluides	FLUID
24	Usine à chaux	USAC
25	Centrale ferraille	FERSID
26	Unité logistique	LOG
27	IMAPORT	PORT

**Tableau.I.1** : Les unités de l'entreprise

# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

## I.2.4. Produits du complexe :

installation	Produit	Principaux utilisateurs
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF01 et HF02	Fonte	Métallurgie
AC01	Brames	Industrie de transformation
AC02	Billettes	Industrie de transformation
LAC	Tôles fortes, tôles	Construction métallique chantiers navals tube bouteilles à gaz
LAF	Tôles fines	Electroménager mobilier métallique industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique divers pour les industries alimentaires et chimique
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiment pour l'agronomie industrie et levage
ACE	Lingots	Recherche et production pétrolière transport des hydrocarbures
LFR	Fil rond à béton	Bâtiment et travaux publics hydraulique
LRB	Rond à béton	Bâtiment et travaux publics hydraulique
TSS	Tube sans soudure	Bâtiment et travaux publics hydraulique

**Tableau.I.2:** Produits du complexe

## I.2.5. La marche du Production :

**IMITTAL SIDER** D'El-Hadjar reçoit la matière première de la mine D'El- Ouenza par voie ferroviaire sur une distance de 150 km.

Le minerai arrivant au complexe est déchargé, stocké ; ensuite il est concassé, criblé et mélangé avec des fines de coke. Ce mélange subit un traitement thermique pour devenir une pâte que nous appelons aggloméré directement achemine vers les hauts fourneaux (HF), mélangé avec le coke en roche, pour fusion et donc obtention d'une fonte liquide. Cette fonte

# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

liquide produite est soit solidifiée en gueuses de fonte brute, soit transformée en acier au niveau aciérie à oxygène à l'aide des convertisseurs (Système LD).

L'acier obtenu est coulé sous forme de brames d'une longueur allant jusqu'à 6000 mm. Les brames sont destinées à l'atelier de laminage à chaud (LAC) pour obtention des bobines de tôles fortes.

Les bobines de tôle ainsi produites sont destinées soit à l'atelier Tuberiez (TUS) pour l'élaboration des tubes nécessaires aux hydrocarbures (pipe-line et gazoduc) ou encore élaborée au niveau du laminoir à froid (LAF) pour la production des tôles galvanisées, étamées et autres.

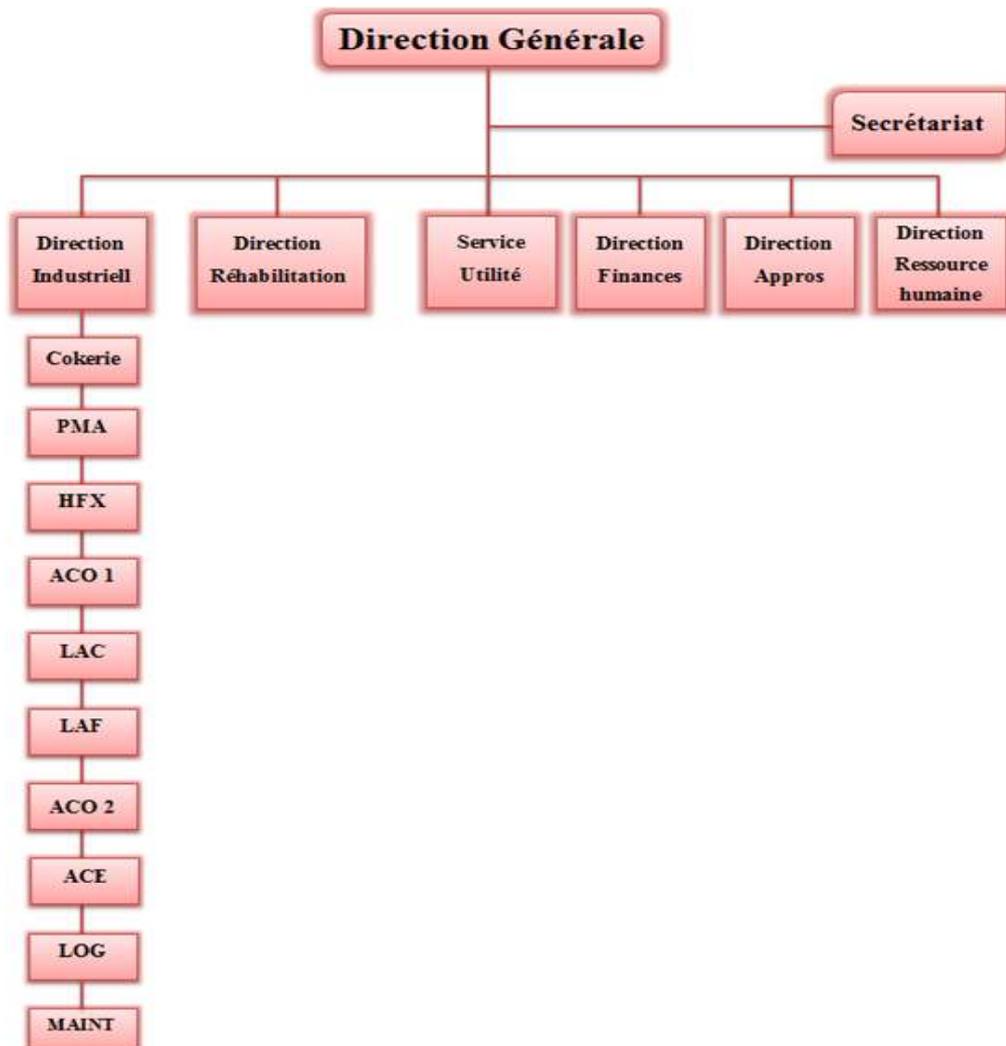
Enfin, une aciérie électrique (ACE) équipée d'un four à arc produit des lingots coulé en source et des billettes à partir d'une coulée continue d'acier. L'aciérie électrique utilise une charge constituée de ferraille de récupération et de fonte en gueuse. Le lingot d'acier ainsi produit est transformé en tubes sans soudure à la (TSS).

Il existe encore une deuxième aciérie à oxygène (ACOII) identique à la première (ACO I) mais produisant des billettes (et non des brames) qui sont destinés aux laminoirs à fil et rond (LFR) et laminoir de rond a béton (LRB).

Les billettes de longueurs 12000 mm destinées soit à l'atelier LFR ou LRB pour l'élaboration du rond a béton de plusieurs diamètres de 6 mm à 50mm.

La capacité de production nominale depuis 2007 c'est 1,8 million de tonne /ans de produit sidérurgique.

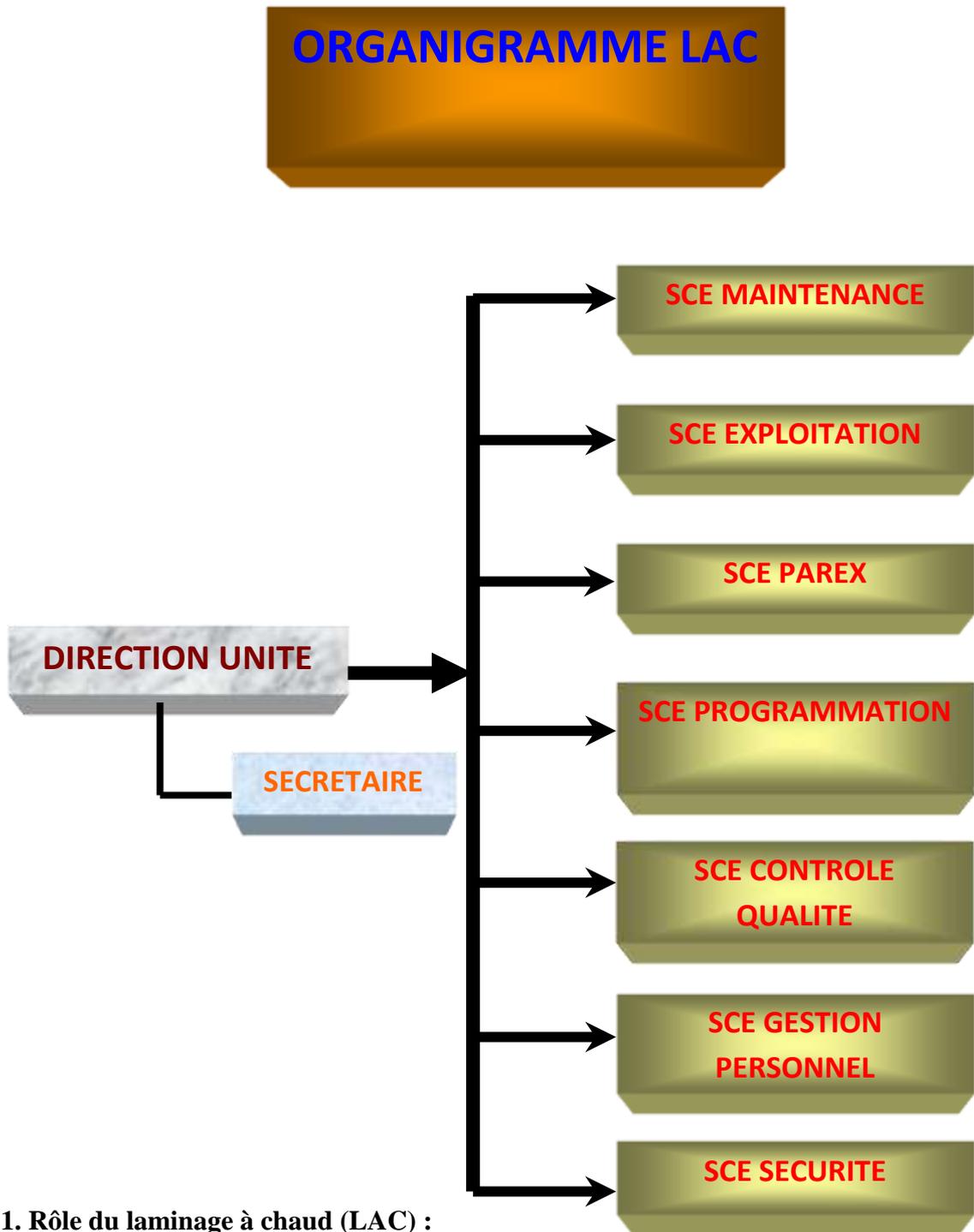
## I.2.6. Nouvelle organisation de l'entreprise :



## I.2.7. REPRESENTATION DE L'UNITE (LAC)

✚ Laminoir à chaud est située à l'aval de l'aciérie à oxygène ACO (1) et à l'amont du laminoir à froid (LAF).

✚ LAC présente l'une des plus importantes unités de production au sein du complexe.



### I.2.7.1. Rôle du laminage à chaud (LAC) :

Laminoir à chaud de IMITTAL SIDER d'El-Hadjar, est un train de laminage du type semi continu capable de réduire l'épaisseur des brames d'acier provenant de l'aciérie à oxygène ACO (1) et transformer en tôles fortes et en bobines.

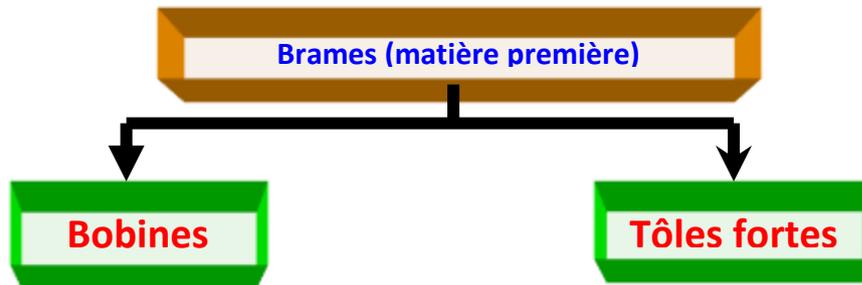
Laminoir à chaud fonctionne (3×8) continu avec un périodique de quinze jours, et arrêt systématique annuel, sauf des imprévisibles.

# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

## I.2.7.2. Description de l'installation :

Un ensemble de plusieurs installations forment la chaîne du laminage.

Le Réchauffage des brames fait à la température de  $1260\text{ C}^0 - 1300\text{ C}^0$ , Donc le LAC est un atelier qui transforme à chaud des brames d'acier en bandes et tôles fortes, Les bandes sont présentés comme produit fini dans des bobines.



Dimension des produits fabriqués :

Les caractéristiques principales des produits sont les suivantes :

produit	Dimensions		
	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Poids (T)
Plaque	8 : 80	1250 : 1650	4
bobines	1.5 : 15	600 : 1350	21

Tableau.I.3 : Dimension des produits fabriqués

Train de laminage : Le train de laminage comprend les installations suivantes :

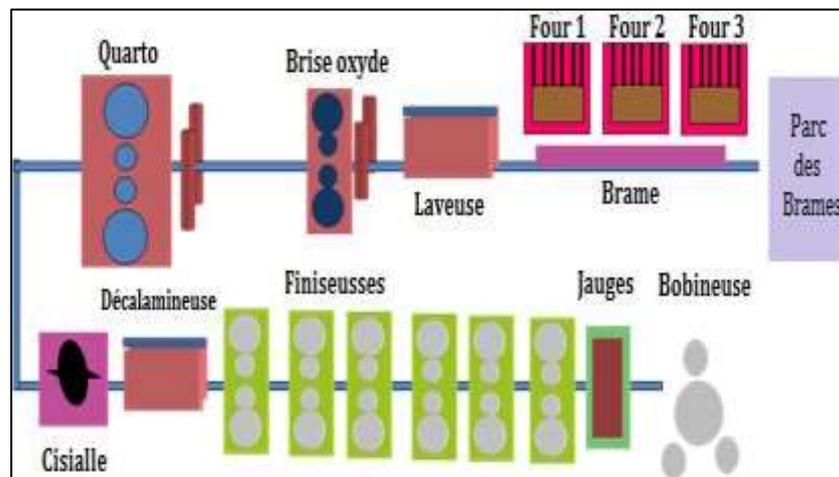


Figure.I.2 : Train de laminage

### I.2.8.2.a. Parc des brames :

Les brames produites au niveau de l'aciérie à oxygène AC01 sont réceptionnées Par deux halles de stockage parallèles au LAC, ensuite les brames subissent un refroidissement à l'air libre ou avec de l'eau dans des piscines.



**Figure.I.3 : Parc des brames**

## I.2.8.2.b. Fours poussant :



**Figure.I.4 : Bruleur**



**Figure.I.5 : Thermocouple**

### ➤ Four N<sup>0</sup>=01 :

Il est destiné à réchauffer les brames programmées afin de produire la tôle forte, cette opération vise l'augmentation de l'élasticité du métal et par conséquent on économise l'effort de laminage et pour avoir une meilleure réduction de l'épaisseur et de la largeur.

Le four a les caractéristiques suivantes :

- Longueur  $L_1=36500$  mm ;
- Largeur  $L_2=6300$  mm ;
- Hauteur  $H=650$  mm
- Capacité  $C=125t/h$  ;
- Température  $T=1260^0c$ .

### ➤ Fours N<sup>0</sup> 2 et N<sup>0</sup> 3 :

Ils sont spécialisés pour les brames destinées à la production des bandes fines (bobines).

Elles ont les caractéristiques suivantes :

- Longueur  $L_1=32500$  mm ;
- Largeur  $L_2=9800$  mm ;
- Hauteur  $H=4700$  mm ;
- Capacité  $C=240t/h$  ;
- La température  $T=1250^0c$  ;

## I.2.8.2.c. Laveuse à brame :

Cette installation permet d'enlever la calamine qui se forme sur les brames durant leur séjour dans le four, le milieu ambiant ainsi que le temps de séjour contribuent à la formation de cette calamine (oxyde de fer) cette dernière est enlevée par jets d'eau avec une pression de 140 bars.

## I.2.8.2.d. Brise oxyde :

C'est une cage universelle avec deux cylindres verticaux et deux autres horizontaux, elles ont comme rôle de briser la calamine qui couvre la brame en permettant la première réduction de l'épaisseur et de la largeur, après la brame sera nettoyée par un jet d'eau d'une pression de 140 bar, les cylindres eux même seront refroidies avec une pression d'eau de 4 à 18 bar.



Figure.I.6 : Brise oxyde

## I.2.8.2.e. Quarto réversible :

Il se compose de :

- Dégrossisseuse réversible dite QUARTO.
- EDJER verticale type duo.

## I.2.8.2.f. LE Dégrossisseuse réversible QUARTO :

Elle est équipée de deux cylindres de travail et deux autres d'appuis, Il a comme rôle de laminier les brames qui arrivent de la brise oxyde en les modelant par processus de va et vien allant de 5 à 7 passes celons des paramètres (température des brames a l'entrée, épaisseur voulue à la sortie, type du métal etc...) ces paramètre sont incorporé dans le processus qui est piloté par un système automatisé et un logiciel qui assure la commande et le contrôle instantané et la signalisation des pannes .

## I.2.8.2.g. La cage verticale « EDJER QUARTO » :

Cette cage est équipée de deux cylindres verticaux en acier de forage, principalement utilisé pour réduire largeur du brame qui augment pendant l'opération de laminage.

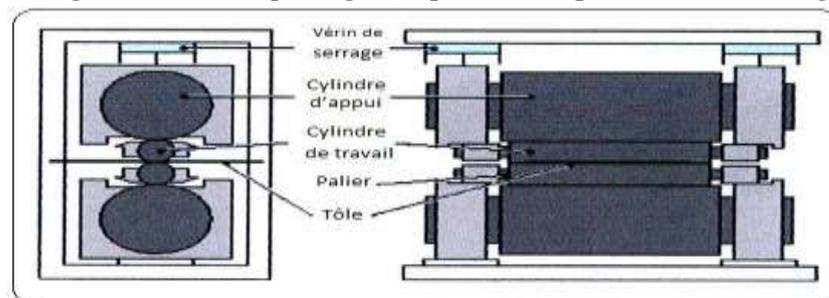
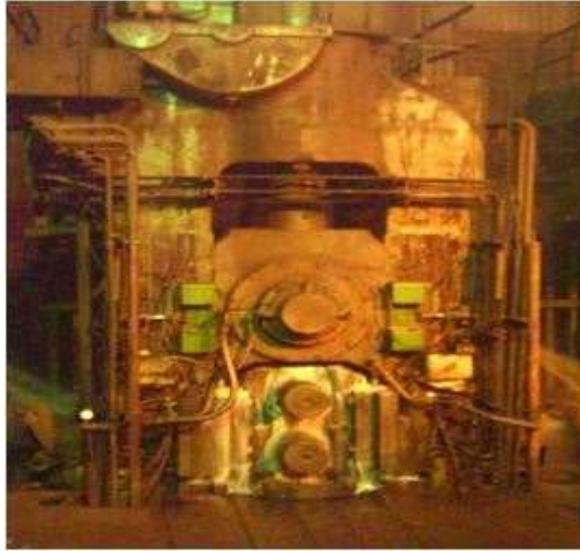


Figure.I.7 : Cage quartto



**Figure.I.8 :** Cage quarto

### **I.2.8.2.h. Cisaille à ébouté :**

Placée devant le train finisseur, cette installation permet l'ébouage des têtes et queues des ébauches provenant du quarto, la tête est coupée en forme d'arrondie pour faciliter son engagement au train finisseur, tandis que la queue est coupée droite pour éviter son retournement, entre les cages risqueraient d'abimer la surface des cylindres.

- La vitesse de coupe correspond à une vitesse maximale de 1.25m/s.

### **I.2.8.2.i. Décalamineuse :**

Son utilité est de chasser la couche de calamine formée sur la surface de la brame durant l'ébauchage qui s'effectue au niveau du quarto réversible jusqu'au train finisseur, cette opération se fait par un jet d'eau sous pression de 140 bar.



**Figure.I.9:** Décalaminage de brame

### **I.2.8.2.j. Train finisseuse (6 cages) :**

C'est un train à action continue de la première cage à la sixième cage, l'ébauche durant son passage est prise dans toutes les cages en même temps, cette installation est destinée à la production des tôles minces livrées en bobine, en réduisant successivement l'épaisseur de l'ébauche, pour la porter jusqu'à la dimension demandée et de donner à la bande un profil bien déterminé suivant sa destination. Le train finisseur a les caractéristiques suivantes :

- Type de cage : finisseuses.

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

- Diamètre des cylindres de travail de 650 -700mm.
- Diamètre des cylindres d'appuis de 1270-1425mm.
- Largeur de la Table est de 1500mm.
- Ecartement de cylindres est de 90mm.
- Vitesse de laminage est de 0-1.25m/s.
- Les cylindres de travail et d'appui sont refroidis à l'eau avec une pression respectivement de 4 à 18 bars.
- La durée de vie des cylindres de travail est relative aux paramètres mécaniques (diamètre dureté élasticité).
- Le train finisseur est doté aussi des systèmes de mesure et de contrôles suivants :
  - Jauge d'épaisseur à rayons X.
  - Jauge de largeur : placée en aval de la jauge d'épaisseur, elle sert pour la mesure des largeurs de bandes.



**Figure.I.10:** Train finisseuse (6 cages)



**Figure.I.11:** Cage de finisseur

## I.2.8.2.k. Systèmes de refroidissement bandes :

Placée à la sortie du train finisseur, ce système permet de refroidir la bande pour l'obtention des températures de bobinage désirée.

Le refroidissement se fait par écoulement laminaire d'eau cette installation est composée de : 84 caissons supérieurs comportant chacune, 43 buses avec un débit global d'arrosage bande de  $6000\text{m}^3/\text{heures}$ , 117 rampes inférieures comportant chacune 19 buses avec un débit global unitaire de balayage de  $700\text{m}^3/\text{heures}$ .

## I.2.8.2.l. Tableau à rouleaux sortie finisseur :

Cette Tableau permet l'acheminement de la bande, du train finisseur jusqu'aux bobineuses, elle est composée de 264 rouleaux automoteurs, divisée en quatre sections, les vitesses de ces sections sont synchronisées avec celle de la dernière cage finisseuse, respectivement de 7%, 10%, 12% et 15% de plus que la vitesse de la cage n<sup>0</sup>6.

## I.2.8.2.m. Les bobineuses :

Le LAC possède trois bobineuses à la sortie du train finisseur espacé d'une distance bien déterminé, car la bande peut atteindre une longueur plus de 500 m, ce qui exige un bon bobinage de la bande et avoir un produit fini et acceptable pour le client.

### ➤ Bobineuses (1) et (2) :

Ils sont entraînés par deux moteurs à courant continu.

En trouve dans Chaque bobineuse :

- Un rouleau entraîneur ou pinceur.
- Quatre rouleaux presseurs.
- Un mandrin à expansion.
- Vérin pneumatique.

### ➤ La bobineuse (3) :

- Elle est entraînée par un moteur asynchrone à cage d'écureuil.
- Un rouleau entraîneur ou pinceur.
- Trois rouleaux presseurs.
- Un mandrin à expansion.
- vérin pneumatique



Figure.I.12: Bobine

## I.2.7.3. Fonctionnement de laminage d'une bande :

Le laminoir à chaud (LAC) est destiné à la production des bobines et tôles fortes en acier.

# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

La brame est chauffée au Four (Four 2 ou Four 3 qui travaillent en permutation) à une température de 1300°C, pour permettre d'appliquer sur elle des traitements qui sont les suivants :

Après son enfournement, elle passe à la laveuse via la voie à rouleaux pour éliminer la calamine qui existe sur elle (Brame), par une pression d'eau de 140 bars.

En suite elle (brame) passe au niveau de la brise oxyde pour éliminer encore la couche de calamine (oxyde de fer) qui s'est formée sur sa surface et entre-temps pour effectuer une réduction sur son épaisseur (faible réduction), après cette opération la brame doit subir une diminution d'épaisseur par quarts à plusieurs passes, [de 5 à 7], pour obtenir une bande. Cette dernière doit être cisailée au niveau de la tête et la queue. Une décalaminisation générale est effectuée pour éliminer toute calamine, ensuite la transférer au train finisseur pour avoir une épaisseur et une largeur demandées.

La bande passe dans une unité de mesure appelée « jauge de mesure » pour vérifier son épaisseur, son profil, sa largeur et sa planéité, en suite elle passe dans une douche pour diminuer sa température à 600 °C, enfin elle est embobinée par une des 3 bobineuses pour obtenir une bobine selon les besoins.

## I.2.7.4. Système de refroidissement :

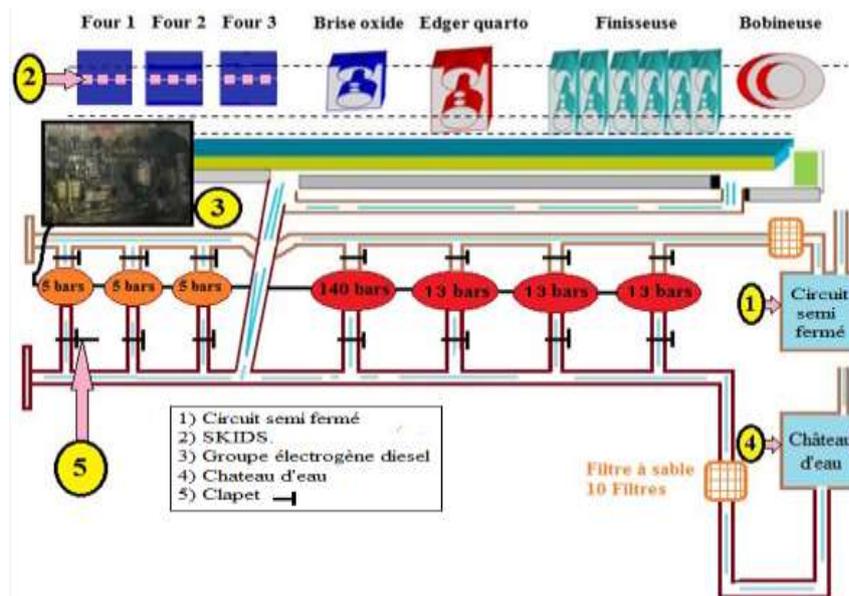


Figure.I.13 : Système de refroidissement

Pendant la production, les pompes (13 bars), font l'opération de refroidissement des cylindres de travail avec une pression de 4 à 13 bars pour éviter tout risque d'abimer les surfaces des cylindres.

Les pompes (13 bars), absorbent l'eau (voir schéma d'installation (1) [circuit semi fermé d'eau]) et la refoule aux cylindres, ensuite cette eau fait le retour pour être filtrée et répéter la même opération.

Les pompes (5bars), absorbent l'eau (voir schéma d'installation (1) [circuit semi fermé d'eau]) et la refoule aux SKIDS (2) du Four 2 et du Four 3 par une pression de 5 bars.

Dans l'opération d'échauffement des brames à 1300°C, l'eau passe à l'intérieur des SKIDS qui portent ces brames pour leur refroidissements afin d'éviter leurs déformations, chaque SKID est protégé par une couche de béton spécial qui résiste à la haute température.

La pompe (140 bars) pour décalaminisation de la bande.

## ➤ Remarque

- Dans le cas de panne électrique ces pompes sont alimentées par un groupe électrogène diesel.
- Dans le cas où ce groupe électrogène est en panne, le circuit de refroidissement est effectué directement du château d'eau qui peut dépanner pendant trois heures au maximum.
- Tout cela est pour protéger contre l'usure et la déformation des SKIDS.
- Dans le cas où une défaillance est survenue dans l'une des motopompes en doit fermer les deux vannes clapet (5) avant d'effectuer une éventuelle intervention de réparation.

## **I.3. Evaluation de la politique de maintenance existante dans l'entreprise :**

### **I.3.1. Introduction :**

L'amélioration et l'optimisation d'une politique de maintenance est aussi délicate que l'intégration d'une nouvelle.

Le diagnostic de la maintenance est un examen méthodique d'une situation relative à une organisation ou à des prestations en maintenance et ce en vue de vérifier la conformité à des règles établies en maintenance.

En effet, le diagnostic est effectué en collaboration avec les intéressés chaque fois qu'on décide un changement d'organisation ou pour apporter des améliorations dans la pratique de la maintenance.

### **I.3.2. Méthodologie :**

La méthodologie de LAVINA qu'on a adoptée se procède en quatre étapes :

1. Collecte d'informations à l'aide d'un questionnaire.
2. Analyse et évaluation des résultats obtenus.
3. Détermination des objectifs à atteindre.
4. Elaboration du plan d'améliorations.

### **I.3.3. La démarche de LAVINA :**

La méthode de LAVINA consiste à analyser le fonctionnement de la maintenance en se basant sur un questionnaire qui couvre douze rubriques et compte cent vingt questions.

Les domaines de management de la maintenance dans la méthode adoptée sont :

1. L'organisation générale : Elle couvre les procédures générales d'organisation du service maintenance, les règles selon lesquelles est établi l'organigramme (compromis hiérarchie/fonctionnel) et les éléments de la politique du service.

2. Les méthodes de travail : Elles permettent la préparation du travail avec, en particulier, les estimations de temps et les méthodes d'intervention.

3. Le suivi technique des équipements : Il regroupe toutes les actions d'analyse menées en vue de doser correctement, en fonction d'objectifs de disponibilité et de coût, les interventions palliatives, préventives et correctives sur les divers équipements. En fait, il s'agit essentiellement de traiter l'information concernant les équipements : fiches techniques, gestions des modifications et historiques.

4. La gestion du portefeuille de travaux : Elle couvre le traitement des demandes de travaux et des plans de maintenance, de programmation, d'ordonnancement et de lancement.

5. La gestion des pièces de rechange : Elle permet de nous renseigner sur comment sont tenus les stocks ? Comment les pièces sont-elles stockées ? Quels modes de gestion sont-ils adoptés ? ...

# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

---

6. L'outillage et appareils de mesure : Les métiers de la maintenance demandent à être de mieux en mieux outillés et doivent disposer de nombreux moyens de manutention. Cela demande une organisation et une gestion sérieuses.

7. La documentation technique : Il faut avoir une documentation complète, avec un accès facilité par un classement irréprochable et bénéficiant d'une mise à jour systématique.

8. Le personnel et la formation : Cette rubrique évalue les compétences du personnel ainsi que le climat de travail.

9. La sous-traitance : A-t-on de bons contrats ? Evalue-t-on les sous-traitants ? Comment assurer les suivis sur site ?

10. Le contrôle de l'activité : Tableau de bord, système d'informations comptes rendus d'activité et d'élaboration du budget.

## **I.3.4. Le déroulement du diagnostic :**

Pour bien mener ce diagnostic, les questionnaires de LAVINA sont remplis en collaboration avec les exploitants du complexe et le responsable du service technique et maintenance.

Les questions proposées comportent les options de réponse suivantes :

- ❖ "Oui" : pour une affirmation exacte et toujours vérifiée.
- ❖ "Non" : pour une affirmation fausse et jamais vérifiée.
- ❖ "Plutôt Oui" ou "Plutôt Non" : si l'on n'est pas totalement affirmatif ou totalement négatif.
- ❖ "Ni Oui, Ni Non" : si l'une des options précédentes ne convient pas.

## **I.4. Mise en pratique de la méthode de LAVINA à l'entreprise LAC:**

Ce questionnaire a été établi grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant dans les différentes rubriques ci-dessous. Les chiffres en gras soulignés sont la note attribuée par chaque responsable.

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>A- Organisation générale</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Avez-vous défini par écrit et fait approuver l'organisation de la fonction maintenance ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
2- Les responsabilités et les taches définies dans l'organisation Sont-elles vérifiées périodiquement pour adaptation.	0	2.5	5	<b><u>7.5</u></b>	10
3- Les responsabilités et les taches des techniciens sont-elles clairement définies ?	0	5	10	<b><u>15</u></b>	20
4- Le personnel de l'encadrement et de supervision est-il suffisant ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
5- L'activité de chaque chef d'équipe est –elle encadrée par un budget de fonctionnement ?	0	2.5	5	<b><u>7.5</u></b>	10
6- Y a-t-il quelqu'un de désigné pour assurer la coordination des approvisionnements, des travaux, des études d'installations et de la formation.	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
7- Existe- il des fiches d'intervention et de suivi pour chacun des machine ?	0	5	10	<b><u>15</u></b>	20
8- Les agents exploitant le matériel disposent-ils de consignes écrites pour réaliser les taches de maintenance (surveillance, contrôle de fonctionnement...) de premier niveau.	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
9- Réunissez-vous périodiquement pour examiner les travaux à effectuer.	0	5	10	<b><u>15</u></b>	20
10- Les objectifs du service maintenance sont-ils écrits et sont-ils contrôlés régulièrement ?	0	10	15	<b><u>20</u></b>	30
11- Etes-vous consulté ou suivi par l'exploitant ou bien la direction technique.	0	10	15	<b><u>20</u></b>	30

**A – 210 Points obtenus /250 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>B- Méthodes de travail</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Pour les interventions importantes en volume d'heures et /ou répétitives, privilégie-t-on la préparation du travail ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
2- Utilisez-vous des supports imprimés pour préparer letravaux où établir des devis (fiches de préparation ou fiche de devis) ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
3- Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
4- Avez-vous une procédure écrites (et appliquée) définissant les autorisations du travail (consignation, déconsignation) pour les travaux à risque ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
5- Conservez-vous et classez-vous de manière particulière les dossiers de préparation ?	0	2.5	5	<b><u>7.5</u></b>	15
6- Y a-t-il des actions visant à standardiser les organes et pièces ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
7- Avez-vous des méthodes d'estimation des temps autres que celles enregistrées sur les fiches d'interventions ?	0	2.5	5	<b><u>7.5</u></b>	10
8- Utilisez-vous la méthode PERT pour la préparation des travaux longs ?	0	5	10	<b><u>15</u></b>	20
9- Avez-vous recours à des méthodologies formalisées pour les interventions palliatives ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
10- Réservez-vous les pièces en magasin, faites-vous préparer des Kits (pièces, outillages) avant vos interventions ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
11- L'ensemble de la documentation est-elle correctement classée et facilement accessible ?	0	5	10	<b><u>15</u></b>	20

**B- 235 Points obtenus /255 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>C- Suivi technique des équipements</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Disposez-vous d'une récapitulative (inventaire) paremplacement des équipements de votre unité ?	0	10	15	20	<u><b>30</b></u>
2- Est-ce que chaque équipement possède un numéro d'identification unique autre que le numéro chronologique d'immobilisation ?	0	5	10	<u><b>15</b></u>	20
3- Sur le site, tout équipement a-t-il son numéro d'identification clairement signalé ?	0	5	7.5	<u><b>10</b></u>	15
4- Les modifications sur équipement, nouvelles installation ou suppressions d'équipement sont-elles enregistrées systématiquement ?	0	5	7.5	10	<u><b>15</b></u>
5- Un dossier technique est-il ouvert pour chaque équipement ou installation ?	0	10	15	20	<u><b>30</b></u>
6- Possédez-vous un historique des travaux pour chaque équipement ?	0	10	15	<u><b>20</b></u>	30
7- Disposez-vous des informations concernant les heures passés, les équipements consommés et les coûts, équipement par équipement ?	0	10	20	<u><b>30</b></u>	40
8- Y a-t-il un (ou plusieurs) responsable(s) de la tenue de l'historique des travaux ?	0	5	10	15	<u><b>20</b></u>
9- Assurez-vous un suivi formel des informations relatives aux comptes rendus de visites ou inspections préventives ?	0	10	15	20	<u><b>30</b></u>
10- Les historiques sont-ils analysés une fois par ans ?	0	5	10	15	<u><b>20</b></u>

**C- 220 Points obtenus /250 points possibles**

# CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>D- Gestion portefeuille de travaux</b>	Non	Plutot non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Avez-vous un programme établi de maintenance préventive ? (action préventives, périodicité, charge de travail ...)	0	10	20	30	<b><u>40</u></b>
2- Disposez-vous de fiche ou (check-lists) écrit de maintenance préventive ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
3- Existe-il un responsable de l'ensemble des actions de maintenance préventive ?	0	2.5	5	7.5	<b><u>10</u></b>
4- Les utilisateurs des équipements ont-ils des responsabilités en matière de réglage et de maintenance de routine ?	<b><u>0</u></b>	5	10	15	20
5- Avez-vous un système d'enregistrement des demandes de travaux ?	0	10	20	<b><u>30</u></b>	40
6- Y a-t-il une personne plus responsable de l'ordonnancement des travaux ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
7- Avez-vous défini des règles permettant d'affecter les travaux selon les priorités ?	0	10	15	<b><u>20</u></b>	30
8- Connaissez-vous en permanence la charge de travail en portefeuilles ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
9- Existe-il un document bon (ou demande) de travail permettant de renseigner et de suivre toutes les interventions, qui soit utilisé systématiquement pour tout travail ?	0	10	15	<b><u>20</u></b>	30
10- Les techniciens ainsi que les chefs d'équipes se rencontrent périodiquement pour débattre des priorités, problème de planning, personnel, etc... ?	0	10	15	<b><u>20</u></b>	30
11- Disposez-vous d'un planning hebdomadaire de lancement Des travaux ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>

**D- 240Points obtenus /300 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>E- Tenue du stock de pièces de rechange</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Disposez-vous d'un magasin fermé pour stocker les pièces derechange ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
2- Disposez-vous de libre-service pour les consommationscourantes ?	0	2.5	<b><u>5</u></b>	7.5	10
3- Tenez-vous à jour des fiches de stocks (manuel ouinformatisé) ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
4- Eliminez-vous systématiquement les pièces obsolètes ?	0	2.5	5	<b><u>7.5</u></b>	10
5- Suivez-vous la consommation des articles par équipement ?	0	2.5	5	<b><u>10</u></b>	15
6- La valeur et le nombre d'articles en stocks est-il facilementdisponible ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
7- Les pièces sont-elles bien rangées et identifiées ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
8- A-t-on bien défini le seuil de déclenchement et les quantités àapprovisionner pour chaque article en stock ?	0	5	10	<b><u>15</u></b>	20
9- Les pièces interchangeables sont-elles identifiées ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
10- Les procédures d'approvisionnement sont-elles suffisamment souples pour stocker au maximum chez le fournisseur ?	0	10	15	<b><u>20</u></b>	30

**E- 177.5 Points obtenus /205points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>F – Achat et approvisionnement des pièces et matières</b>	No n	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- A-t-on une procédure formalisée et adaptée d'émission des demandes d'achat et de passation des commandes ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Y a-t-il une ressource dans le service particulièrement chargée des suivis des demandes d'achat ?	0	15	10	15	<u>20</u>
3- Toute demande de pièces à coût élevé requiert-elle l'accord du responsable du service ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Les délais d'émission d'une demande sont-ils à votre avis suffisamment courts ?	0	<u>10</u>	15	20	30
5- A-t-on des machines négociées pour les articles standard ?	0	10	<u>15</u>	20	30
6- Pour les articles à consommation régulière, passez-vous par des fournisseurs autres que le constructeur de l'équipement ?	0	10	15	20	<u>30</u>
7- Disposez-vous d'un processus d'homologation des fournisseurs ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8- Lors des différentes négociations avec les fournisseurs, y a-t-il une grande cohésion entre le service achat et le service de maintenance ?	0	5	10	15	<u>20</u>

**F- 165 Points obtenus /200 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>G – Organisation matérielle de l'atelier maintenance</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- L'espace atelier de maintenance est-il suffisant ?	0	10	15	<u>20</u>	30
2- Votre atelier pourrait-il être mieux situé par rapport aux équipements à entretenir ?	40	30	20	<u>10</u>	0
3- Les bureaux des superviseurs sont-ils de plein pied sur l'atelier ?	0	5	10	15	<u>20</u>
4- Votre atelier dispose-t-il de chauffage et d'air conditionné ?	0	<u>2.5</u>	5	7.5	10
5- Le magasin d'outillage et de pièces de rechange est-il au voisinage de votre atelier ?	0	<u>5</u>	10	15	20
6- Y a-t-il un responsable du magasin ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
7- Le magasin outillage est-il affecté exclusivement à la maintenance et aux travaux neufs ?	0	5	<u>10</u>	15	20
8- Chaque intervenant dispose-t-il d'un poste de travail bien identifié ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9- Les moyens de manutention de l'atelier sont-ils adaptés ?	0	10	15	20	<u>30</u>

**G- 127.5 Points obtenus /200 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>H- Outillages</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Disposez-vous d'un inventaire d'outillage et équipement de test en votre possession ?	0	5	10	<u>15</u>	20
2- Cet inventaire est-il mis à jour régulièrement ?	0	<u>5</u>	7.5	10	15
3- Disposez-vous de tous les outillages spéciaux et équipement de tests ou contrôle en votre possession?	0	10	15	<u>20</u>	30
4- Exécutez-vous votre maintenance à l'aide des équipements de test ou contrôle en votre possession?	0	10	15	<u>20</u>	25
5- Les outillages et équipements de test ou de contrôle sont-ils facilement disponibles et suffisante en quantité ?	0	10	15	20	<u>25</u>
6- L'étalonnage des appareils s'est-il bien défini (vérification et tolérance) et effectué ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
7- Avez-vous défini par écrit le processus de mise à disposition et d'utilisation des outillages ?	0	<u>2.5</u>	5	7.5	10
8- Chaque exécutant dispose-t-il d'une boîte à outils personnelle ?	0	<u>10</u>	15	20	30
9- Disposez-vous suffisamment de moyens de manutention sur site (palan, treuil, nacelle, échelle,...) ?	0	10	15	20	<u>30</u>

**H- 142.5 Points obtenus /200 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>I - Documentation technique</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Disposez-vous d'une documentation générale suffisante mécanique, électrique, électronique, informatique... ?	0	5	10	<u>15</u>	20
2- Pour tout équipement (ou installation) disposez-vous des plans d'ensembles et schémas nécessaires ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- Les notices techniques d'utilisation et de maintenance ainsi que les listes pièces détachées sont-elles disponibles pour les équipements majeurs ?	0	10	15	<u>20</u>	30
4- Les plans des installations accessibles et utilisables ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- Les plans et schémas sont-ils mis à jour au fur et à mesure des modifications apportées ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Enregistre-t-on les travaux de modification des équipements et classe-t-on les dossiers de préparation correspondants (préparation mise à jour documentation) ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7- Les contrats de maintenance sont-ils facilement accessibles ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8- Les moyens de classement et archivage sont-ils suffisants ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10

**I- 177.5 Points obtenus /200 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>J - Personnel et formation</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui Ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Le climat de travail est-il généralement positif ?	0	10	20	<u>30</u>	40
2- Les techniciens encadrent-ils correctement les travaux réalisés par les agents ou les opérateurs ?	0	10	15	20	<u>30</u>
3- Les problèmes sont-ils souvent examinés en groupe incluant les exécutants ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Existente-t-il des entretiens annuels d'appréciation du personnel d'encadrement et exécutant ?	0	5	10	15	<u>20</u>
5- Les agents de maintenance sont-ils suffisamment disponibles ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6- Considérez-vous globalement que la compétence technique de votre personnel soit suffisante ?	0	15	25	35	<u>50</u>
7- Dans le travail au quotidien, estimez-vous que le personnel a l'initiative nécessaire ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Le responsable maintenance assure-t-il régulièrement le perfectionnement de son personnel dans les domaines technique ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9- Recevez-vous une formation aux nouvelles technologies par l'intermédiaire de visite chez les constructeurs ou des expositions ?	0	10	15	<u>20</u>	30
10- Votre personnel reçoit-il régulièrement une formation à la sécurité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11- La formation des agents est-elle programmée et maîtrisée par le service maintenance ?	0	5	10	<u>15</u>	20
12- Les qualifications et les habilitations du personnel sont-elles suivies rigoureusement ?	0	5	10	15	<u>20</u>
13- Avez-vous des pertes importantes de temps productifs dûes à des retards, absences... ?	30	20	15	<u>10</u>	0
14- La relation entre votre personnel et le service client est-elle bonne ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>

**J- 345 Points obtenus /400 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>K- Sous-traitance</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Avez-vous un processus d'évaluation formelle des sous-traitants ?	0	2.5	5	7.5	<b><u>10</u></b>
2- Les descriptifs de travaux et cahier des charges sont-ils soigneusement élaborés ?	0	15	20	30	<b><u>40</u></b>
3- La sélection des sous-traitants s'effectue-t-elle sur des critères de technicité et de compétence ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
4- Avez-vous localement la possibilité de recours à de multiples entreprises sous-traitantes pour les domaines qui vous concernent ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
5- Sous-traitez-vous les tâches pour lesquelles vous considérez ne pas disposer d'une technicité suffisante ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
6- Vos contrats avec les sous-traitants incluent-ils des clauses de résultats ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
7- Développez-vous l'assurance de la qualité et le partenariat avec vos sous-traitants ?	0	10	<b><u>15</u></b>	20	30
8- Créez-vous et mettez-vous à jour un dossier par affaire selon une procédure de constitution pré-établie ?	0	5	10	15	<b><u>20</u></b>
9- Le suivi des travaux du sous-traitant et la réception de ceux-ci sont-ils effectués par une personne de votre service nommée et désignée et selon des procédures rigoureuses ?	0	10	15	20	<b><u>30</u></b>
10- Disposez-vous d'une documentation propre à faciliter la maintenance de vos équipements par des entreprises de l'extérieur ?	0	<b><u>10</u></b>	15	20	30

**K- 215 Points obtenus /250 points possibles**

## CHAPITRE I Entreprise d'accueil et politique de maintenance

<b>L- Contrôle de l'activité</b>	Non	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Disposez-vous d'un tableau de bord vous permettant de décider des actions correctives à prendre ?	0	15	20	<u>30</u>	40
2- Existe-il des rapports réguliers de suivi des heures et de main d'œuvres des agents de maintenance ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- Les performances du service maintenance sont-elles suivies ?	0	15	20	30	<u>40</u>
4- L'efficacité du potentiel de la maintenance est-elle contrôlée ?	0	10	15	<u>20</u>	30
5- Maîtrisez-vous votre charge de travail ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6- Disposez-vous des coûts de maintenance équipement par équipement ?	0	10	15	<u>20</u>	30
7- Le service maintenance dispose-t-il d'un outil de gestion informatisé de l'activité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Disposez-vous des informations de synthèse dans un délai suffisamment court ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Emettez-vous régulièrement (tous les mois ou annuellement) un compte rendu des activités ?	0	10	15	<u>20</u>	30

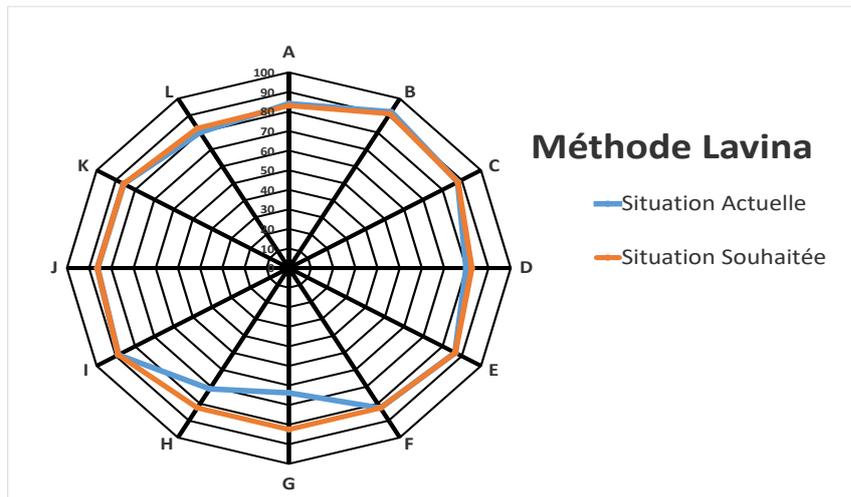
**L- 240 Points obtenus /300 points possibles**

## I.4.1 RESULTATS DU DIAGNOSTIC

Domaines d'analyses	Scores obtenus	Max possible	Pourcentage
A- Organisation générale	210	250	84%
B- Méthodes de travail	235	255	92.15%
C- Suivi technique des équipements	220	250	88%
D- Gestion du portefeuille de travaux	240	300	<b><u>80%</u></b>
E- Stock de pièces de rechange	177.5	205	86.58%
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	165	200	82.5%
G- Organisation matérielle de l'atelier maintenance	127.5	200	<b><u>63.75%</u></b>
H- Outillages	142.5	200	<b><u>71.25%</u></b>
I- Documentation technique	177.5	200	88.75%
J- Personnel et formation	345	400	86.25%
K- Sous-traitance	215	250	86%
L- Contrôle de l'activité	240	300	<b><u>80%</u></b>
<b>SCORE TOTAL</b>	<b>2495</b>	<b>3010</b>	<b>82.44%</b>

**Tableau. I. 1 : Résultats du diagnostic**

Pour mieux visualiser ces résultats, nous les avons présentés sur le graphe en radar suivant:



**Figure.I.14 :** Radar de la méthode Lavina

Le Tableau (Tableau .I.4) permet d'identifier quatre domaines présentant, plus ou moins, des faiblesses ou dont l'action est prioritaire. Ce sont les domaines dont le pourcentage indiqué à la quatrième colonne du Tableau (Tableau .4) est inférieur à celui du score total (Gestion du portefeuille de travaux, Organisation matérielle de l'atelier, Outillage, Contrôle d'activité).

#### I.4.2. Analyse des résultats :

Le Tableau (Tableau .I. 5) montre les propositions que nous formulons pour remédier aux manques observés dans les six rubriques qui affichent une faiblesse. Ces propositions devraient augmenter le score de chaque rubrique jusqu'à arriver à un pourcentage aussi proche que possible de la moyenne totale.

Rubriques du questionnaire	Propositions d'amélioration
D- Gestion du portefeuille de travaux	Revoir le budget alloué au service maintenance.
G- Organisation matérielle de l'atelier	L'atelier doit être rangé correctement
	Définir pour chaque travailleur un poste de travail clairement défini
H- Outillage	Fournir les outillages spéciaux et les équipements de test nécessaires
L- Contrôle de l'activité	Suivre des performances du service
	Mise en place d'un Tableau de bord permettant de décider des actions correctives à entreprendre

**Tableau.I.15:** Propositions d'améliorations

## Conclusion :

Ce premier chapitre a été réservé en premier lieu à la présentation de l'entreprise d'accueil et de son importance vis-à-vis l'économie nationale et étant donné que le **LAC** (Laminoin à chaud) fait partie de la société **SIDER d'El-Hadjar**, nous avons préféré abordé en deuxième lieu, une étude de la politique de maintenance suivi par le **LAC**.

Il est fort important de signaler que le stage effectué au niveau du **LAC** a été très bénéfique ; ce dernier nous a permis de nous s'approcher et de connaître le domaine de la sidérurgie qui est le pilon de l'industrie lourde algérienne.

A cet effet, nous avons préféré commencé notre travail par une étude critique de la politique de maintenance suivie par les responsables du **LAC** tout en utilisant une technique très efficace connue par le nom de la méthode de **LAVINA**.

Cette dernière, basée sur un questionnaire formé de douze rubriques, chacune contenant des dizaines de questions, a été réalisé grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant de près ou de loin dans la fonction maintenance.

Les différents résultats trouvés nous ont permis de cibler quatre domaines dont deux principaux qui présentent certaines faiblesses et qui nécessitent des améliorations dans le futur proche.

Suite à cette étude, nous avons pu dégager certaines propositions dont l'application peut réduire les problèmes décelés et d'augmenter la fiabilité des installations.

## CHAPITRE II :

### MAINTENANCE : CONCEPTS FONDAMENTAUX

#### II-1 : INTRODUCTION :

Au cours des dernières années, on est passé du concept d'entretien au concept de maintenance. L'entretien a souvent été limité aux inconvénients et aux contraintes des machines et des installations de production, tandis que l'entretien comprend de plus en plus le contrôle économique de la disponibilité des outils de production.

#### II-2. La maintenance :

##### II.2.1. Généralités :

La maintenance est une méthode traitée dans les institutions et les entreprises par des personnes qualifiées. Ou par des agences spécialisées dans ce domaine. C'était sa première utilisation dans l'automobile à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Son utilisation dans l'armée a été répandue dans la **I** et la **II** Guerre mondiale.

##### II.2.2. Historique :

**Avant 1970** : Nous utilisons toujours le concept de réparation [1].

**1970-1990** : Nous avons utilisé le concept d'entretien, avec le développement des automobiles, de l'aviation et des armements pendant les deux guerres mondiales.

**A partir de 1990** : Les méthodes d'entretien ont évolué et tous leurs concepts et domaines ont été identifiés pour passer de l'entretien primitif à l'entretien moderne dans plusieurs domaines [1] :

- Sécurité des gens
- Sécurité d'environnement
- Développement technologique
- Coût total

##### II.2.3. Définition de la maintenance :

La maintenance est l'ensemble des opérations permettant de maintenir ou de rétablir un système, un matériel, etc. dans un état donné ou de lui restituer des caractéristiques de fonctionnement spécifiées.

**D'après Larousse** : La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.

**D'après la norme française AFNOR 60010** : "L'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise". Donc ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management [1].

### II.2.4. Rôle de la maintenance :

Le rôle de la maintenance dans toutes les entreprises (dans tous les secteurs et activités diverses) est d'assurer la disponibilité des équipements et la meilleure performance des services

Les agents d'entretien devront prendre toutes les mesures nécessaires pour prévoir les défauts futurs et respecter le budget alloué.

✓ **Prévisions de court terme :**

Peut-être dans une semaine, un jour ou même quelques heures ou quelques minutes

Même dans ce cas, dans le but d'accélérer autant que possible la maintenance, les interventions doivent également faire l'objet de réparations minimales.

✓ **Prévisions à moyen terme :**

La maintenance doit être effectuée de la façon la plus confidentielle possible dans le calendrier de charge de production. Il est donc nécessaire d'anticiper leurs interventions selon les programmes de production. La production devrait également tenir compte des exigences physiques.

✓ **Prévisions à long terme :**

Il s'agit d'investissements massifs ou d'actions durables. La politique publique de l'entreprise dicte souvent ces attentes.

### II.2.5. Les objectifs de la maintenance : Deux types peuvent être distingués

#### II.2.5.1. Objectifs Opérationnels :

- Entretien de l'équipement dans les meilleures conditions, dans un état acceptable.
- Assurer la disponibilité maximale des outils de production à un prix raisonnable.
- Maximiser la durée de vie des outils de production.
- Obtenir un rendement maximal.
- Préserver l'environnement.

#### II.2.5.2. objectifs des coûts

- Obtenir le meilleur rendement.
- Réduire les dépenses de maintenance et maximiser les bénéfices.
- Respecter le budget alloué à la production et à l'entretien.

### II.2.6. Types de la maintenance :

Il existe deux types de maintenance classés en fonction de l'événement attendu et de l'état du matériel :

#### II.2.6.1. La maintenance préventive :

La maintenance préventive est une intervention avant les pannes. Ce type d'intervention peut prendre plusieurs formes : visites, inspections et surveillance, et comprend des modifications, des mises à jour ou des remplacements de pièces.

**La D'après norme française AFNOR 60010 :**"maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou dégradation d'un bien ou d'un service rendu"[1].

**D'après la norme CEN 319-003 :**"maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation d'un bien"[1].

La maintenance préventive peut se présenter sous trois aspects :

- ✓ Maintenance préventive systématique.
- ✓ Maintenance préventive conditionnelle.
- ✓ Maintenance préventive prévisionnelle.

**Exemples De Maintenance Préventive [2] :**

1. Augmenter la fiabilité des équipements, donc réduire les défaillances, leurs coûts et améliorer la disponibilité.
2. Augmenter la durée de vie efficace des dispositifs.
3. Diminuer le temps d'arrêt en cas de révisions ou de pannes.
4. Améliorer les conditions de travail.
5. Minimiser le budget de maintenance alloué.
6. Faciliter le fonctionnement des stocks.

### **II.2.6.1.a. Maintenance préventive systématique**

Maintenance préventif régulier selon des normes prédéterminées, y compris l'intention de réduire le risque de défaillance de la propriété.

**D'après la norme française AFNOR 60010 :**"activés déclenchées suivant un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage" et aussi" les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et ce de façon périodique"[1].

**D'après la norme CEN 319-003 :**"Maintenance préventive exécutée sans contrôle préalable de l'état du bien et à des intervalles définis"[1].

**Exemple [2] :**

1. Lubrifier les boites de vitesse des voitures toutes les 80.000 km ;
2. Changer les filtres à air des moteurs thermiques tous les 500 Km ;
3. Changer les roulements des roues tous les 50000 km ;
4. Nettoyer les ventilateurs chaque deux jour ;
5. Vérifier la tension des courroies chaque semaine ;

### **II.2.6.1.b. Maintenance préventive conditionnelle**

Entretien préventif conditionnel soumis à un type d'événement prédéterminé (information automatique du capteur, mesure de la corrosion, etc.). Dépend de l'état à un certain moment de la machine.

**D'après la norme française AFNOR 60010** : "Les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou de service"[1].

" Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints des fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remise en état nécessaires"[1].

**D'après la norme CEN 319-003** : "Maintenance préventive consistant en une surveillance du fonctionnement d'un bien et des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent".

"La surveillance peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue."[1].

**Exemple** :[2].

1. vérifier le baleure et équilibrez le ventilateur si le niveau vibratoire atteint 60  $\mu\text{m}$  (Seuil D'alarme).
2. Prévoir un changement de roulement s'il y a un bruit.
3. changer le stator d'un moteur électrique si la température dépasser le seuil.

### II.2.6.1.c. Maintenance préventive prévisionnelle

**D'après la norme française AFNOR 60010** : "maintenance prévisionnelle subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive"[1].

**D'après la norme CEN 319-003** : "Maintenance prévisionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien."[1].

### II.2.6.2. Maintenance corrective :

Maintenance corrective ou curative effectuée après défaillance, partielle ou complète.

**D'après la norme CEN 319-003** : "maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise». Mais "elle n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, elle est retardée en accord avec des règles de maintenance données"[1].

#### ➤ Maintenance palliative (Dépannage) :

Il s'agit d'une restauration des opérations qui ont parfois lieu sur place sans interruption

Le travail du groupe concerné. Il a un caractère "temporaire" et doit être suivi d'une action corrective permanente.

### ➤ **Maintenance curative (permanent) :**

Il s'agit de réparations qui ont lieu sur place ou dans l'atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère "final".

### **II.2.7. Les opérations de la maintenance :**

#### **II.2.7.1. Les opérations de la maintenance corrective :**

##### ➤ **Le Dépannage**

Action physiques prises pour permettre aux actifs défailants de remplir leur fonction pendant une période limitée jusqu'à la maintenance (EN 13306 : avril 2001).

##### ➤ **La Réparation**

Action physiques prises pour rétablir le travail requis pour les dispositifs brisés (EN 13306 : avril 2001).

#### **II.2.7.2. Les opérations de la maintenance préventive**

##### ➤ **Les inspections :**

Vérification de la conformité par la mesure, le contrôle, l'essai ou l'étalonnage des propriétés importantes de la propriété. En général, l'inspection peut être effectuée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance (EN 13306 : avril 2001).

##### ➤ **Les Visites :**

Surveillance dans le cadre d'un entretien préventif systématique, à un rythme précis. Ces procédures sont conformes à la liste des procédures de maintenance corrective prédéfinies.

##### ➤ **Les Contrôles :**

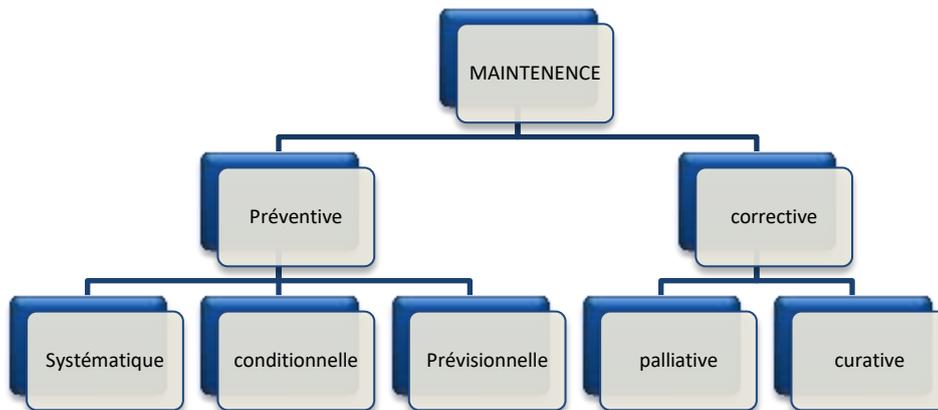
Vérification de la conformité par rapport aux données prédéterminées suivie d'un jugement. La surveillance peut :

- Inclusion d'une activité d'information.
- Inclusion d'une décision d'accepter, de rejeter ou d'ajourner la réunion.
- Commande de maintenance corrective en tant que visites.
- Les opérations de surveillance (inspections, visites et contrôles) sont nécessaires pour surveiller l'évolution de la situation des biens immobiliers. Ils sont mis en œuvre en continu ou à intervalles prédéterminés, ou ne sont pas calculés au moment ou au nombre d'unités utilisées.

### II.2.7.3. Autres processus :

#### ➤ Révision :

L'ensemble des procédures d'inspection, de contrôle et d'intervention afin de sécuriser la propriété de toute défaillance majeure ou critique, pour une certaine période ou un certain nombre d'unités d'utilisation, La figure (II.1) représente tous les types de maintenance[2].



**Figure.II.1** : Les types de maintenance.

### II.2.8. Les cinq niveaux de maintenance :

La maintenance est une gestion et des plans qui sont faits pour assurer le bon fonctionnement des biens, des biens et des personnes, parfois répétées ou accidentelles, de sorte qu'ils ont fixé cinq niveaux qui sont :

#### ➤ Niveau 1 :

Les opérations de maintenance classées de Niveau 1 correspondent à des réglages jugés simples et basiques [1].

C'est-à-dire que ces actions de maintenance ne nécessitent pas un démontage ou l'ouverture de l'équipement. L'exploitant du bien peut les faire lui-même ou confier la tâche à un opérateur non spécialisé [1].

#### Exemples :

- relevé d'un compteur.
- test d'un voyant lumineux.
- remplacement d'une ampoule ou d'un fusible.
- remise à zéro d'un automate.

### ➤ Niveau 2 :

Les actions de maintenance qui correspondent au Niveau 2 concernent des actions peu complexes. Elles appartiennent à la catégorie des actions de maintenance préventives ou de dépannages.

Les pièces qui seront remplacées lors de ces opérations ne doivent pas entraîner le démontage global de l'équipement.

À ce niveau, la personne apte pour la réalisation de ce type d'intervention est un technicien qui a reçu une formation préalable sur la sécurité et les risques dans l'entreprise. En général, ce niveau de maintenance est confié à un technicien de qualification moyenne [1].

### Exemples :

- vérification de capteurs
- remplacement d'une courroie ou de tresses
- ré enclenchement d'un disjoncteur
- changement d'un relais
- contrôles de performances

### ➤ Niveau 3 :

Ces interventions ont lieu sur place ou dans un atelier de maintenance dédié. Pour ce faire, il faut prendre en compte l'appareil dans la globalité de son fonctionnement. C'est-à-dire qu'une modification d'un élément peut interagir sur le fonctionnement général de l'appareil.

Les actions de Niveau 3 sont réalisées par des techniciens spécialisés grâce à un outillage précisé dans les instructions de maintenance [1].

### Exemples :

- vérification combustion d'une chaudière
- opération qui nécessite l'usage d'un instrument de mesure
- changement d'une pompe
- échange d'un composant

### ➤ Niveau 4 :

La maintenance de Niveau 4 rassemble les travaux de maintenance corrective et préventive sauf ce qui concerne la rénovation ou la reconstruction.

La maintenance de Niveau 4 est exécutée par un ou des techniciens avec une qualification spécifique. Ce type de travaux est supervisé par un responsable spécialisé.

La maintenance est effectuée dans des ateliers avec un outillage spécial (moyens de nettoyage, de câblage...) mais aussi de la documentation ou des bancs de mesure [1].

### Exemples :

- vérification d'un appareil de mesure
- analyse de vibration ou d'un niveau de chaleur
- révision d'une pompe

#### ➤ Niveau 5 :

Le dernier niveau de maintenance (Niveau 5) regroupe des opérations complexes. Ces opérations sont souvent confiées au constructeur de l'appareil car les actions à mettre en place sont similaires à des actions de fabrication. On peut aussi faire appel à des prestataires externes.

Les appareils concernés par la maintenance de niveau 5 sont des appareils lourds dont la mise en conformité doit être surveillée [1].

### Exemples :

- mise en conformité d'un appareil selon une nouvelle réglementation
- reconstruction ou réparation d'un appareil

Ces classifications permettent également de juger si une action interne peut ou si elle nécessite l'intervention de prestataires externes qualifiés.

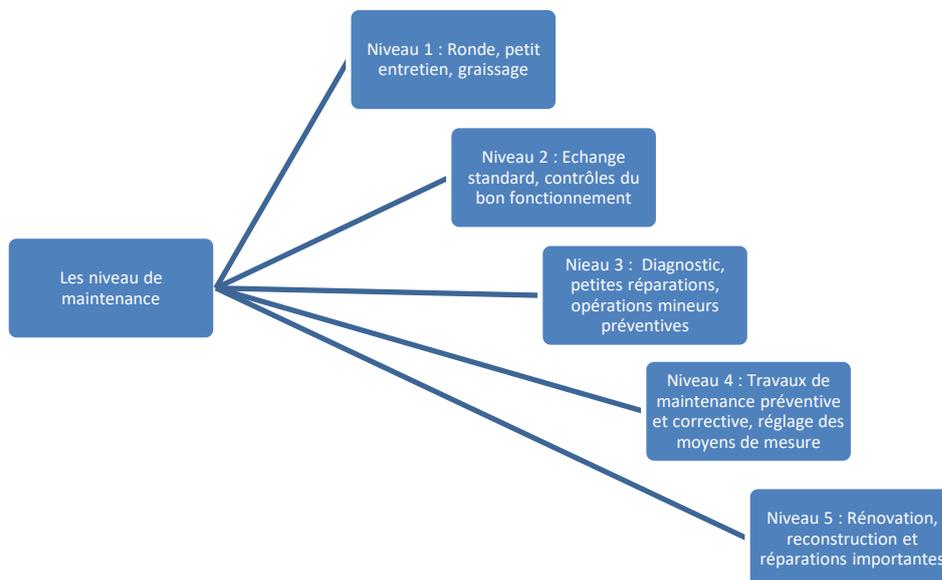
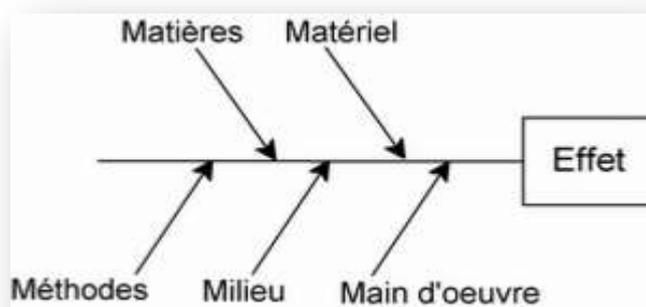


Figure.II.2 : Les niveaux de la maintenance

### II.2.9. Les outils de la maintenance :

#### II.2.9.1 Outil méthode maintenance 1 : Le diagramme d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa, également appelé diagramme de causes et effets (5M), Ou encore diagramme en arêtes de poissons, est utilisé dans la gestion de la qualité. Il aide à identifier les différentes causes et effets d'une problématique donnée.



**Figure.II.3** : Le diagramme d'Ishikawa

Son fonctionnement est simple : il vous suffit de lister l'ensemble des potentielles causes imputables à la problématique que vous rencontrez et de les classer selon différentes catégories. Sur une machine donnée, on pourrait par exemple créer les catégories électriques, mécanique, hydraulique, automatisme, et retrouver sous chacune d'entre elles tout un ensemble de problèmes que l'on peut rencontrer sur la machine en question.

Cet outil, assez visuel, est particulièrement utilisé dans la gestion des risques, propre à la gestion de projet, puisqu'il vous permet d'anticiper tout un éventail de difficultés qui pourraient avoir des retombées assez catastrophiques sur l'activité de votre entreprise [4].

### II.2.9.2 Outil méthode maintenance 2 : Pareto ou L'analyse ABC

L'analyse Pareto, autrement appelée méthode des 20-80, permet d'analyser les pannes les plus importantes, aussi bien en termes de fréquence d'intervention que de temps passé. Elle permet d'affirmer que 20 % (voire moins) des causes sont responsables de 80 % des problèmes rencontrés dans une usine, et donc d'analyser toutes les problématiques pour trouver une réponse adaptée. Pour utiliser cette méthode et avoir un aperçu général de la situation, vous devez au préalable vous donner de vos historiques de défaillance. La GMAO nouvelle génération vous permet grâce à son module d'analytique, de ressortir automatiquement toutes vos données afin de les exploiter [5].

### II.2.9.3 Outil méthode maintenance 3 : l'AMDEC

L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) a pour but de vous aider à mener une analyse poussée de vos interventions de maintenance et de votre parc machine.

L'AMDEC vous permet de gérer votre maintenance industrielle puisque cet outil de sûreté de fonctionnement est aussi très utilisé dans le cadre de démarches qualité.

Pour l'utiliser au mieux, il vous suffit de suivre ces quelques étapes :

- ✓ Déterminer le mode de défaillance ainsi que la cause ;
- ✓ Mesurer les effets sur le système, la fonction touchée ainsi que le dommage induit ;
- ✓ Identifier les critères suivants :
  - N : Nombre de pannes
  - F : Fréquence

- G : Gravité
- E : Évidence ;

Calculer la criticité d'après la formule suivante : (Fréquence\*Gravité\* Évidence).

La forme de l'AMDEC peut être multiple (fonctionnelle, produit, processus, moyen de production, flux) et avoir chaque fois des effets différents, mais qui permettront toujours d'obtenir un document de travail incontournable pour savoir quelles actions entreprendre, quelles interventions réaliser, etc.

En définitive, cette méthode permet d'augmenter la production en limitant les problèmes de défaillance, d'analyser les défauts de production, de constamment chercher à s'améliorer [5].

### II.2.9.4.a Domaine d'application de L'AMDEC :

1950 : la méthode FMECA (Failure, Mode effects and criticality analyse) est introduite aux Etats-Unis dans le domaine des armes nucléaires ;

1950 : Cette méthode est mise en application en France sous le nom d'AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautique ;

1970 : Son application est étendue aux domaines du nucléaire civile, des transports terrestres et des grands travaux ;

1980 : L'AMDEC est appliquée aux industries de produits et de bien d'équipement de production.

### II.2.10. Les documents de maintenance :

Pour réaliser l'opération de maintenance, il est nécessaire de connaître l'ensemble des équipements et installations à entretenir, il faut donc [2] :

- Classer l'ensemble du matériel ;
- Classer installation et destruction d'énergie ;
- Equipement des machines ;
- Codifier les matériels, en utilisant par exemple la codification générale de l'entreprise
- Situer chaque équipement ou installation de façon à pouvoir se rendre rapidement aux lieux.

#### II.2.10.1. Dossier machine [6] :

Relatif à chaque machine prise individuellement, les dossiers machine regroupent :

- Les renseignements propres qui concernent cette machine (année de mise en service, montant d'investissement, configuration de fonctionnement, GRAFCET, GEMMA
- La trace écrite de toutes les opérations d'entretien réalisé sur la machine (historique ou traçabilité).

### II.2.10.2. Dossier technique [2] :

Comprend tout ce qui est spécifique au modèle de la machine : données du fabricant, schémas électriques, étiquettes, etc. Tout ce qui est requis est un fichier technique par type de machine.

#### II.2.10.2.a. schéma fonctionnel technique :

Il est essentiel pour la maintenance préventive et corrective; Le dossier de la machine doit inclure:

- le système de surveillance amélioré;
- Conception technique du projet.

#### II.2.10.2.b. Implantation et nomenclature :

Le plan d'implantation et la nomenclature des appareils doivent comprendre :

- Balise de localisation;
- Quantité;
- Tâches;
- La référence et l'identification du fabricant;
- Observation possible.

### II.2.10.3. La fiche technique :

C'est le dossier de santé de l'équipement, ce qui nous permet de suivre toutes les défaillances de l'équipement au fil du temps. Elle permet de :

- Connaissance de la nature de défaillance précédente;
- Décider des améliorations à apporter;
- Les coûts d'entretien;
- Fonctionnement de la fourniture de pièces de rechange.

### II.2.10.4. la fiche de visite :

Il s'agit d'un document d'inspection préparé par le Bureau de Méthode qui énonce les vérifications à effectuer sur l'équipement et la fréquence de ces visites.

### II.2.10.5. Fiche de dépannage :

En cas de défaillance, il est nécessaire de créer un document qui permet l'emplacement, la nature et la durée de l'intervention. Le rapport de dépannage complète le document d'historique et conduit à l'achat de pièces séparées.

### II.2.11. Le fonctionnement d'un service maintenance :

La maintenance doit être rentable, sinon directement productive. D'autre part, sa mission est d'éviter les arrêts de production et de prévenir les accidents.

<b>Etude technique</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Invention du matériel dossier technique.</li><li>• Etablissements de dossier technique.</li><li>• Amélioration.</li><li>• Travaux neufs.</li><li>• Documentations.</li></ul>
<b>préparation ordonnancement</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fiche d'intervention planning.</li><li>• Réparation des documents et suivie.</li><li>• Stocks pièces de rechange.</li></ul>
<b>Etude des couts</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Coûts de maintenance.</li><li>• Coûts de défaillance.</li></ul>

**Tableau.II.1** : Les taches de fonctionnement de service maintenance

### **II.2.11.1. Etude technique :**

C'est la base de la documentation technique des services de maintenance (dossier technique).

### **II.2.11.2. Préparation et ordonnancement :**

Ces centres de commandement de la maintenance

### **II.2.11.3. Etude du coût :**

Le service gère les fournitures et analyse les coûts de maintenance et de défaillance ; il mesure la rentabilité du service.

### **II.2.12 L'analyses des risques :**

Les risques sont essentiels à tous les processus décisionnels. Il est mesuré par une combinaison de plusieurs facteurs (gravité, occurrence, exposition, possibilités d'évitement, etc.), bien que nous nous limitons généralement à deux facteurs : la gravité et la fréquence d'un accident qui peut être nuisible en intégrant le facteur d'exposition dans certains cas. Toutefois, il ne faut pas confondre la notion de risque avec sa mesure

Tout employeur est responsable de l'approche planifiée et structurée de la prévention au moyen d'un système dynamique de gestion des risques. Ce système a été introduit par l'arrêté royal relatif à la politique du bien-être [7].

#### **II.2.12.1 Ce qu'englobe le système dynamique de gestion des risques [7] :**

Le système dynamique de gestion des risques se rapporte au « bien-être au travail ». Ce concept recouvre:

- La sécurité du travail, c'est-à-dire l'ensemble des mesures qui ont pour objet de prévenir les accidents du travail. Elle concerne les interactions entre les installations techniques et le travailleur;

- La protection de la santé du travailleur au travail. Cette notion se rapporte à ce que l'on appelle traditionnellement la médecine du travail, c'est-à-dire l'ensemble des mesures ayant pour but de prévenir les maladies professionnelles. La relation entre le travailleur et son environnement de travail est ici fondamentale. La notion de médecine du travail n'a toutefois pas été reprise dans la loi pour mieux mettre l'accent sur les mesures préventives qui vont plus loin que l'individu;
- La charge psychosociale occasionnée par le travail. Ici, l'accent est mis sur la composante psychique de la santé du travailleur influencée par son environnement de travail. Cette charge requiert donc une approche spécifique au départ des disciplines psychologiques et sociologiques;

### II.2.12.2 Mise en place d'un système de gestion des risques [7]:

Lors de l'élaboration et de l'application du système dynamique de gestion des risques, tous les domaines cités ci-dessus devront être pris en compte. Bien évidemment, en fonction du type d'entreprise dans lequel on se trouve, l'un ou l'autre domaine gagnera en importance. Le système de gestion des risques devra donc être adapté à la spécificité de chaque entreprise. Ainsi, dans un laboratoire, l'accent sera surtout mis sur la sécurité du travail, la protection de la santé et l'hygiène du travail, tandis que dans un service administratif, c'est l'ergonomie qui sera plus importante.

### II.2.12.3. Classification du risque [8]:

Nous suggérons de maintenir les qualifications standard de la norme NF EN 50126, avec son attribution à 3 catégories distinctes : " **risque maîtrisé** " qui recueille le risque minimal et le risque acceptable, " **risque maîtrisable** " qui recueille le risque indésirable restant et enfin " **risque non maîtrisable** " est défini comme un risque résiduel et un risque inacceptable.

#### II.2.12.3.a. Risques maîtrisés :

**Risque négligeable** : Le risque négligeable fait référence à un niveau de risque dont l'occurrence est de l'ordre de 1 par million et par année et au-dessous, et dont la possibilité de réalisation n'affecte pas la vie courante.

**Risque acceptable** : Un risque perçu comme insignifiant peut facilement être accepté. En d'autres termes, un accident potentiel caractérisé par une faible probabilité d'occurrence, peut facilement être accepté. En effet, nous continuons à prendre le train malgré les accidents possibles parce que la probabilité d'un déraillement ou d'une collision catastrophique est extrêmement faible.

#### II.2.12.3.b. Risques maîtrisables :

**Risque tolérable** : Le risque toléré traduit, à l'effet d'en retirer certains bienfaits, la volonté de vivre avec les risques que l'on ne saurait ni ignorer, ni considérer comme négligeables, mais avec la confiance qu'ils sont correctement maîtrisés.

**Risque indésirable** : Un risque indésirable est un risque qui peut être toléré moyennant des mesures appropriées de contrôle et de suivi.

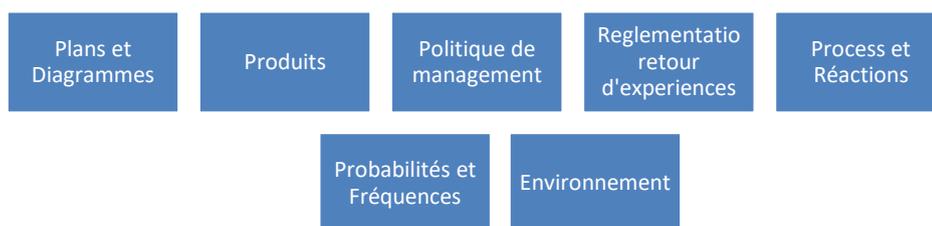
### II. 2.12.3.c. Risques non maîtrisables :

**Risque résiduel** : Risque qui subsiste après avoir appliqué des mesures de réduction ; Risque qui subsiste après avoir appliqué toutes les mesures de réduction disponibles.

**Risque inacceptable Proposition** : Un risque inacceptable est un risque résiduel non toléré.

### II.2.12.4. Méthodes d'analyse des risques [7] :

#### Données d'entrée :



#### Méthodes :



#### Résultats :



**Figure.II.4:** Classement des méthodes de l'analyse des risques [7].

### II.3. Analyse quantitative du risque :

L'analyse quantitative a pour but d'évaluer la sûreté et la sécurité de l'exploitation. Cette évaluation peut être faite par des calculs de défaillance, la probabilité d'un événement effrayant, ou en recourant à des modèles différentiels potentiels tels que les chaînes de Markov, les réseaux de Pétri, les automates d'états finis, etc.

L'analyse quantitative présente de nombreux avantages :

- évaluation de la probabilité des éléments de sûreté opérationnelle
- fixer des objectifs de sécurité
- évaluer l'acceptabilité des risques en intégrant les perceptions de la fréquence des contrôles, de la durée des cas dangereux, de la nature de l'exposition, etc.
- fournir une aide précieuse pour améliorer le jugement sur la nécessité d'améliorer la sécurité

- prioriser les risques;
- comparer et organiser les mesures à prendre, en commençant par celles qui réduisent considérablement les risques

Rechercher une meilleure coordination et coordination de la sécurité entre différents opérateurs (sous-systèmes interactifs) ou équipes (opérations, maintenance, etc.).

- Cependant, l'analyse quantitative contient également des défauts :
  - Certains investissements en temps, efforts et ressources (Logiciels, équipement, financement, etc.);
  - cet investissement peut être disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, lorsque l'analyse quantitative est concise pour permettre des approximations qualitatives (statistiques, retour d'information, évaluation d'experts, etc.)
  - Les résultats de l'analyse quantitative ne sont pas des mesures absolues, mais des aides indispensables au choix des mesures de maîtrise des risques.

### II.3.1. Analyse de la fiabilité des équipements :

#### II.3.1.1. Définition :

D'après la norme AFNOR X60-501 : « La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminées ».

Cette probabilité est généralement classée  $R(t)$ , et le symbole  $R(t)$  provient du mot anglais « reliability ». Il existe deux types de fiabilité en général, le type initialement estimé par la centrale pour l'actif appelé « fiabilité prédictive » et le type réel obtenu après une série de défaillances potentielles appelées « fiabilité opérationnelle ».



Figure.II.5 :Types de fiabilité

#### II.3.1.2. Le Taux de défaillance $\lambda(t)$ :

Le taux de défaillance est une caractéristique de fiabilité couramment utilisée dans l'industrie, car il distingue la vitesse de variabilité de fiabilité au fil du temps.

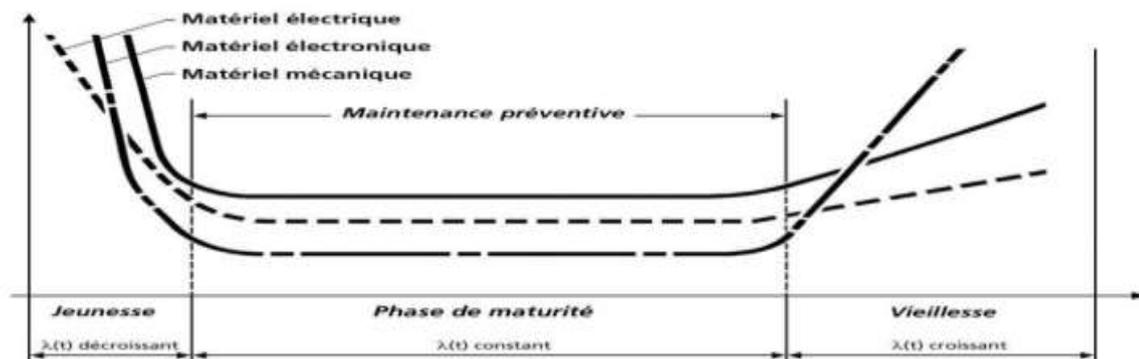
##### 1. Expression théorique

Considérez maintenant  $N(0)$  équipement correspondant dans le temps  $t$ , nous pouvons noter le nombre d'équipement restant  $S(t)$ . Dans ces circonstances, le taux d'échec moyen pour la période de temps  $dt$ , pour le nombre de survivants en temps  $t$ , s'écrit :

$$\lambda(t) = \frac{\frac{S(t) - S(t + \Delta t)}{S(t)}}{\Delta t}$$

## 2 Evolution du taux de défaillance dans le temps

De nombreuses observations ont montré que l'équipement a un taux de défaillance dont la vitesse, en fonction du temps, est "la courbe de la baignoire" (figure II.6). Sur cette courbe, trois zones ont été identifiées.



**Figure.II.6 :** Courbe en baignoire (vie d'un matériel) [9].

### ➤ Période 1 :

Au cours de la première période appelée « période de jeunesse » ou « période d'introduction par effraction », caractérisée par un taux d'échec décroissant au fil du temps, le fait que le taux d'échec maximal ait été initialement enregistré est dû à :

1. défauts de conception, de fabrication ou de croissance;
2. agent de traitement des défauts, etc.

Comme mesure préventive, dans la pratique, nous avons tendance à faire fonctionner l'équipement pendant une certaine période avant qu'il ne soit livré au client, ce processus est appelé "induction" ou "torsion" souvent dans les voitures. En outre, le fabricant fournit tous les documents physiques ainsi que l'assistance technique pendant l'installation, le démarrage, la formation spécialisée des agents, etc. En outre, la structure de l'utilisateur dans cette période devrait inclure des contrôles très améliorés, ainsi que la maintenance corrective (préparation aux défaillances).

### ➤ Période 2 :

Il s'agit de la période de la vie d'une substance pendant laquelle le taux de défaillance immédiat est pratiquement constant pour l'élément électronique, moins pour le composant Mécanique ; il peut être plus ou moins long (plus électronique que mécanique). Les échecs sont aléatoires et souvent liés à la vie des ingrédients. Cette période est également appelée "période d'échéance"; les mesures, est la période pendant laquelle des mesures préventives sont prises, même si des mesures correctives sont encore nécessaires.

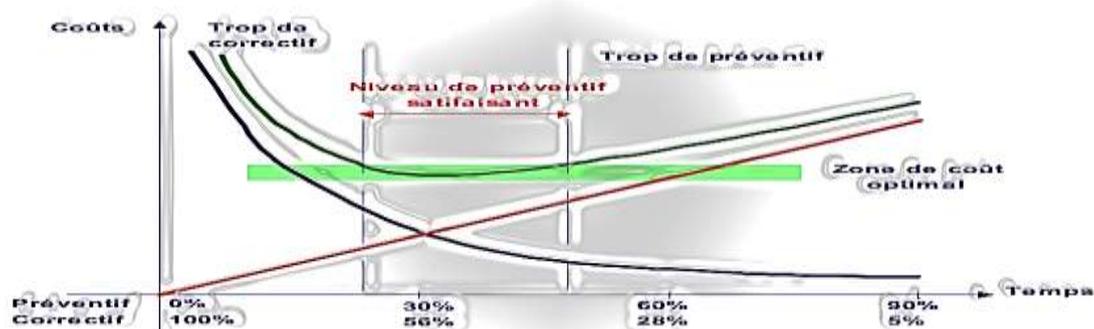
### ➤ Période 3:

Il s'agit de la période de défaillance du vieillissement (ou de corrosion ou de la période de "fin de vie"; Pendant cette période, le taux de défaillance augmente rapidement. Cette période pourrait être éliminée au moyen de politiques appropriées de déclassement ou

de remplacement systématique. Toutefois, la tendance est à l'entretien conditionnel, ce qui permet de prévoir les lacunes et d'exploiter au maximum les équipements.

### II.3.1.3. Choix de la politique de la maintenance :

Le choix entre ces différentes méthodes fait partie de la politique de maintenance et est donc déterminé au niveau de la gestion des services de maintenance. En règle générale, les procédures de maintenance corrective seront réduites au profit de mesures préventives. Mais vous devez savoir que vous ne pouvez pas tout attendre, ce qui signifie que les mesures correctives et préventives seront complémentaires et que la part des mesures préventives que nous adopterons peut être déterminée par les conditions économiques.



**Figure.II.7** : Courbe en baignoire (Politique de maintenance) [9]

### II.3.1.4. Fiabilité et maintenance préventive

#### II.3.1.4.a. Définition [10]:

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

En termes de statistiques, la fiabilité est une fonction du temps  $R(t)$ , qui représente la probabilité qu'une pièce d'équipement fonctionne correctement.

En termes de qualité, la fiabilité du matériau est définie comme la capacité de maintenir la conformité avec ses spécifications d'origine.

#### II.3.1.5. Expressions mathématiques de la fiabilité :

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit  $Z$  la variable aléatoire qui à chaque matériel associe son temps de bon fonctionnement. On choisit un de ces matériels au hasard. Soit les événements  $A$  : « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant  $t$  » et  $B$  : « Le matériel est défaillant à l'instant  $t + \Delta t$  » On a alors :

$$p(A) = p(T > t) \text{ et } p(B) = p(T \leq t + \Delta t)$$

$$\text{Donc } p(A \cap B) = p(t < T < t + \Delta t)$$

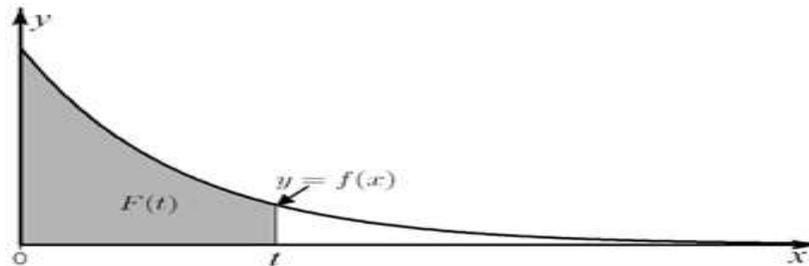
$$= F(t + \Delta t) - F(t) = (1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t)) = R(t) - R(t + \Delta t)$$

$$\text{On en déduit que } p(B/A) = \frac{p(A \cap B)}{p(A)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \quad [10]$$

On appelle fonction de défaillance la fonction  $F$  définie pour tout  $t \geq 0$

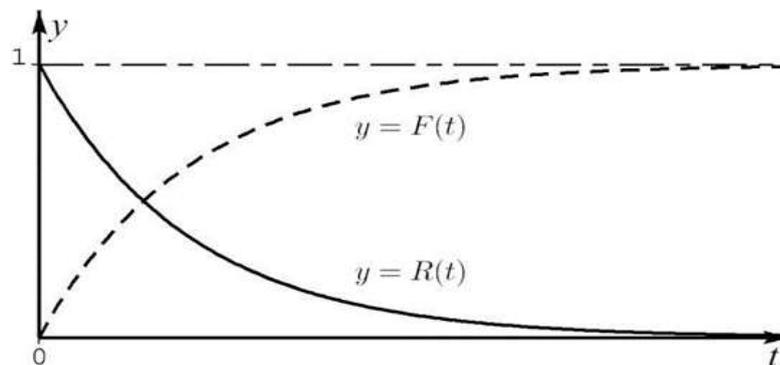
$$F(t) = P(T \leq t)$$

Le nombre  $F(t)$  représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant  $t$ . La figure I.1 donne l'allure de cette fonction.



**Figure.II. 8 :** Fonction densité de probabilité de défaillance.

Cette fonction nous amène naturellement une fonction associée : la fonction de fiabilité  $R$  définie pour tout  $t \geq 0$  par :  $R(t) = 1 - F(t)$ . Le nombre  $R(t)$  représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard dans la population n'ait pas de défaillance avant l'instant  $t$ . La **Figure II.9** montre les deux fonctions associées.



**Figure.II.9 :** Fonction associée de fiabilité et de défaillance

Le taux d'avarie moyen dans l'intervalle de temps  $[t ; t + \Delta t]$  est alors :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \quad (10)$$

Physiquement le terme  $\lambda(t) \cdot \Delta t$ , mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps  $[t, t + \Delta t]$  sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant  $t$

$$\lambda(t) = - \frac{dR(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} = \frac{dF(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - R(t)}$$

Où  $R$  est la fonction de fiabilité de ce matériel. On est alors amené à résoudre une équation différentielle du 1<sup>er</sup> ordre. En effet si  $\lambda$  est connu, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1<sup>er</sup> ordre :

$$R'(t) + \lambda(t)R(t) = 0 \quad (10)$$

Donne la fonction de fiabilité  $R$  du matériel. On déduit alors la fonction de défaillance  $F$  qui est la fonction de répartition de la variable  $Z$  puis la densité de probabilité  $f$  de  $Z$  qui est la dérivée de  $F$ . On alors :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \quad \text{Et} \quad F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$$

### II.3.1.5.a. Indicateurs de fiabilité ( $\lambda$ ) et (MTBF) :

Précédemment le taux de défaillance  $\lambda$  a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{durée total de bon fonctionnement}}$$

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie  $t$ .

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t) dt$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$MTBF = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les (n) défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant : } MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

### II.3.1.6. La relation entre la fiabilité et la maintenance :

Tous les équipements d'une installation industrielle sont soumis à des mécanismes de dégradation dus aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement : usure, fatigue, vieillissement. Face aux défaillances qui en résultent, on peut se contenter de pratiquer une maintenance corrective, mais on n'évite pas ainsi les conséquences des pannes que l'on subit. Une attitude plus défensive consiste à mettre en œuvre une maintenance préventive destinée à limiter, voire à empêcher, ces défaillances, mais on court alors le risque de dépenses excessives et d'indisponibilités inutiles. [10].

### II.3.1.7. Les lois de la fiabilité :

Existe plusieurs lois :

- La loi de **Weibull**
- La loi logistique

- La loi Bêta
- La loi exponentielle

### II.3.1.7.a. Loi de weibull :

L'expression loi de Weibull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissant en physique comme conséquence de certaines hypothèses. C'est en particulier, le cas de la loi exponentielle ( $\beta = 1$ ) et de la loi normale ( $\beta = 3$ ). Sa fonction de fiabilité est :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Avec les paramètres de signification :  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\eta$  définissent la distribution de Weibull. On utilise trois paramètres :

- $\beta$  : paramètre de forme ( $\beta > 0$ )
- $\eta$  : paramètre d'échelle ( $\eta > 0$ )
- $\gamma$  : paramètre de position ( $-\infty > \gamma > +\infty$ )

## II.4. Analyse qualitative des risques :

### II.4.1. Analyse fonctionnelle :

D'après la norme AFNOR NF X 50-151, « l'analyse fonctionnelle est une démarche qui a pour objet rechercher, ordonner et caractériser les fonctions selon des critères d'appréciation, des niveaux et de flexibilité, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions en attribuant un poids en valeur relative ou absolue ». L'analyse fonctionnelle s'effectue en quatre étapes :

- Recenser les fonctions ;
- Ordonner les fonctions ;
- Caractériser et quantifier les fonctions ;
- Hiérarchiser les fonctions ;

#### II.4.1.1. Recenser les fonctions :

Selon la norme AFNOR X50-151, une fonction est « une Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés exclusivement en termes de finalité ». La recherche des fonctions s'effectue en étudiant les relations du système avec son environnement. Chaque fonction devra être exprimée en termes de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

On distingue deux catégories de fonctions : Fonction Service et Fonction Technique.

#### II.4.1.1.a. Fonction service :

La fonction de service est l'action attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné. Il existe deux types de fonctions de service :[2].

Fonction Principale et Fonction Contrainte.

### • Fonction principales (FP) :

La FP est une fonction de service qui met en relation deux éléments du milieu extérieur (ou plus), via le produit. La fonction principale traduit obligatoirement des tâches réalisées par le produit, donc il s'agit d'une fonction attendue pour répondre à un besoin d'un utilisateur donné.[2].

### • Fonction contraintes (FC) :

Les fonctions contraintes traduisent la plupart du temps une adaptation du produit à son milieu extérieur. Une fonction est une limitation de la liberté concepteur (règlement, normes et impératifs d'interface matérielle ou immatérielle) lorsqu'elle exprime le fait que, dans une phase d'utilisation, le produit ne doit pas affecter un élément du milieu extérieur ou être affecté par lui.[2].

#### II.4.1.1.b. Fonction technique :

L'Analyse Fonctionnelle Technique (A.F.T.) Permet de faire la transition entre l'Analyse Fonctionnelle du Besoin (qui reste étrangère aux préoccupations d'ordre technologiques) et la conception détaillée, qui entre de plain-pied dans les considérations technologiques. L'Analyse Fonctionnelle Technique est aussi appelée Analyse Fonctionnelle interne [5].

#### II.4.1.2. Hiérarchiser les fonctions :

Les futurs prestataires de services doivent être en mesure de déterminer le service de base sur lequel leurs connaissances devraient être axées. Par conséquent, il est possible de prioriser l'emploi soit en reliant directement un facteur à chaque emploi, soit en comparant chaque emploi à tous les autres en jugeant s'il est "plus important" ou "moins important".

La figure (II.10) montre le schéma d'une hiérarchisation des fonctions.

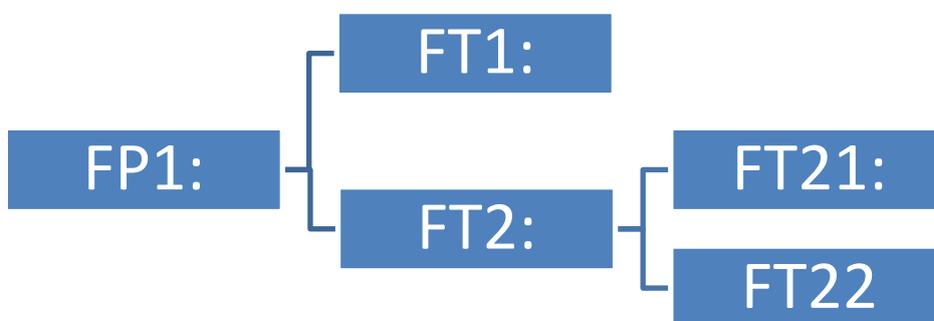


Figure.II.10 : Hiérarchisation des fonctions

### II.5 Les objectifs de la maintenance :

#### II.5.1 Le rôle de la maintenance :

- Obtenir la période maximum d'opération pour la production et l'emploi maximum des services de maintenance au coût le plus bas possible.
- Assurer la qualité et la quantité de produits fabriqués (ou services) tout en respectant les délais.

- Recueillir l'information sur les coûts et autres éléments nécessaires à l'optimisation de la performance.
- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- Préserver et respecter l'environnement.

### II.5.2 Le contrôle des coûts :

- Coûts de main-d'œuvre
- Irrégularité de la charge de travail
- Arrêts de productions dispendieux, non rentables et irrécupérables dans certains cas
- Ponctualité des pannes irrégulières

### II.5.3 Influence de la maintenance :

- ✓ Effet sur le produit :
  - Coût horaire de production
  - Choix des équipements
- ✓ Conception:
  - Maintenabilité
  - Fiabilité
  - Disponibilité
- ✓ Suivi de l'équipement :
  - Implication dès l'installation
  - Réduire le ratio de bris / production

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé le concept de la maintenance ancien et moderne ainsi que la différence entre l'entretien et la maintenance.

Nous avons confirmé et montré une autre fois l'utilité de la maintenance dans la survie des différentes installations ainsi que son importance dans le maintien de la sécurité des personnes et de l'équipement et de l'environnement.

Pour une exploitation rationnelle des équipements et des installations il est toujours nécessaire de donner l'intérêt qu'il faut pour garantir une longévité assez importante des biens et cela par un suivi rigoureux par le biais des différentes techniques et méthodes de maintenances soit quantitative ou qualitative (**FMD, PARETO, AMDEC, DIAGRAMME d'ISHIKAWA...**etc.)

En conclusion, nous pouvons dire que la maintenance a pour objectif d'éviter tous les risques potentiels et de dresser des plans pour les éviter et qui peuvent être analysés pour une éventuelle évaluation.

A cet effet et pour améliorer la productivité des installations il est fort important d'utiliser les méthodes (d'évaluation et de prédiction) disponibles et possibles pour assurer le bon fonctionnement de la production, assurer la sécurité des personnes, préserver l'environnement et réduire les coûts de production et de la maintenance.

## Chapitre III

### Etude quantitative des pompes centrifuges FLOWSERVE type 300/LNN750

#### III.1. Introduction

Les entreprises accordent une grande importance au suivi de leur équipement et à la réduction de ses défaillances, l'étude FMD (fiabilité, maintenabilité et disponibilité) est l'un des outils les plus importants. Crucial pour que l'entreprise puisse réduire ses éventuelles défaillances équipement. A cet effet, une étude FMD basée sur une pompe centrifuge (300/LNN750) Concernant son historique de pannes enregistré depuis Novembre 2020, vise à mettre en évidence toutes les mesures de fiabilité, c'est-à-dire les ratios taux de panne et taux de réparation.

Cette recherche est principalement menée à travers l'un des outils d'amélioration de la maintenance les plus couramment utilisés en maintenance industrielle, à savoir le modèle de **Weibull**.

Avec ses trois paramètres, le modèle **WEIBULL** est reconnu pour sa modélisation des trois étapes de la vie du dispositif (jeunesse-mature-vieillesse).

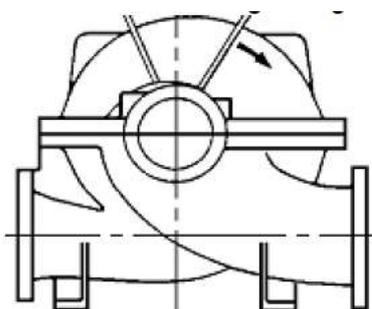
Ainsi, connaître le cycle de vie des équipements permettra d'en déduire plus facilement le type de maintenance le plus adapté afin que les cellules de production du complexe SIDER (LAC) puissent augmenter la disponibilité de leurs machines et ainsi réduire les temps d'arrêt.

Une étude ABC de Pareto, a été faite également afin de déceler les éléments et les actions prioritaires dans les interventions.

L'étude développée dans ce chapitre a été initiée par une analyse statistique de fiabilité basée sur le concept FMDS et cela pour une première estimation de la vie de notre pompe.

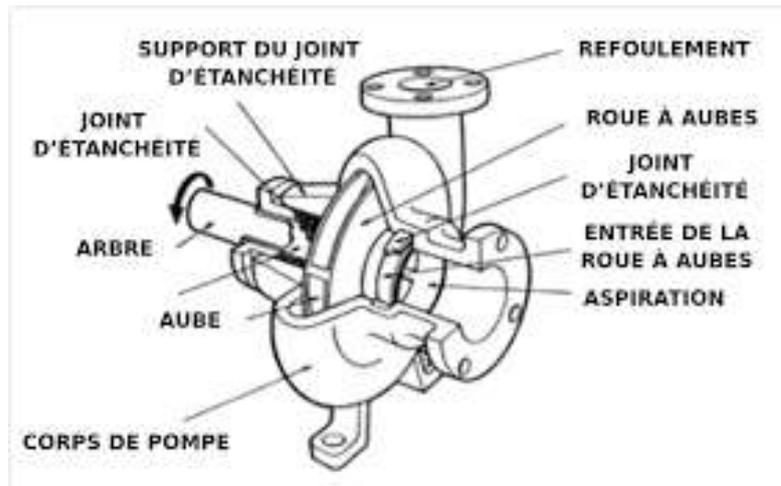
#### III.2. Description la pompe centrifuge type 300/LNN750

La pompe type LNN est une pompe centrifuge à volute, monocellulaire, à plan de joint horizontal, à double aspiration, conçue pour l'adduction, le drainage, les services généraux et le transfert de liquides. Elle peut être utilisée avec un moteur électrique, une turbine à vapeur, ou des moteurs diesel ou à essence [13].



**Figure.III.1** : LNN Buses horizontales d'aspiration et de refoulement (en ligne)

**III.2.1. Les principaux composants de la pompe centrifuge 300/LNN750 :**



**Figure.III.2 :** Les principaux composants de la pompe

**III.2.2. Caractéristique technique du système [19]:**

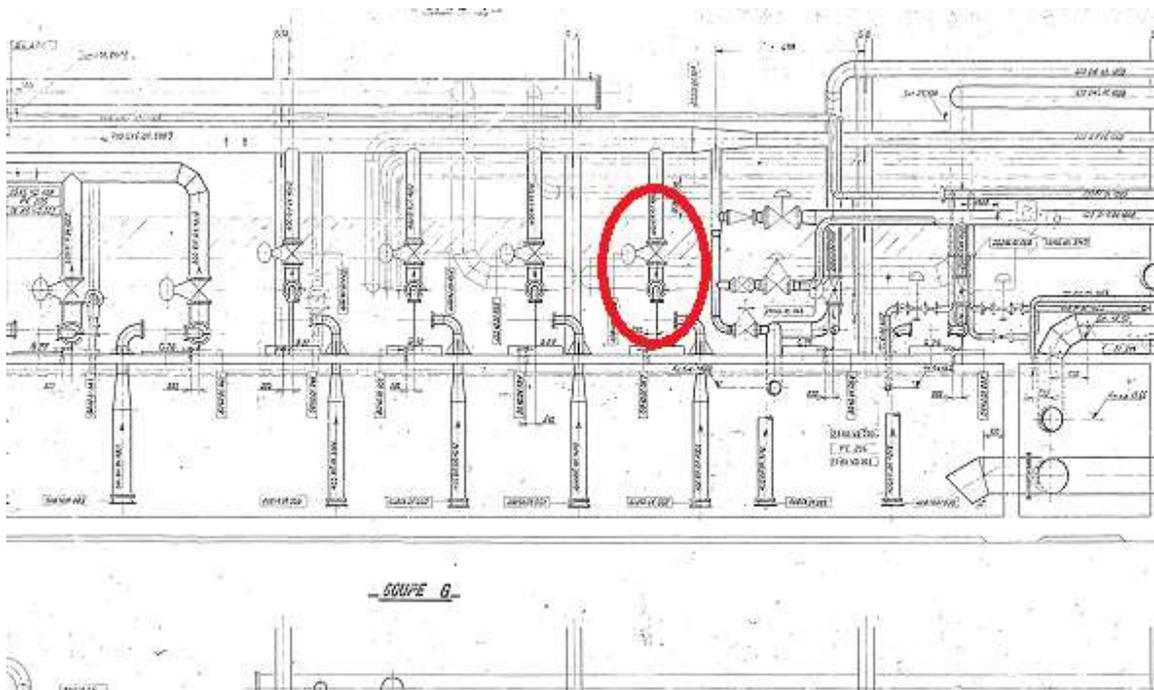
Les caractéristiques techniques de fonctionnement de la pompe centrifuge 300/LNN750 :

<b>Constructeur</b>	<b>Flow serve</b>
<b>Type</b>	<b>300-LNN-750-BB</b>
<b>Paliers</b>	<b>Roulement à bille</b>
<b>ROULLEMENT (coté libre)</b>	<b>6221200897-01-2</b>
<b>(coté accouplement)</b>	<b>6221200897-01-2</b>
<b>Suspensions</b>	<b>Type Rigide</b>
<b>Vitesse de rotation</b>	<b>1480[tr/min]</b>
<b>Débit</b>	<b>1250 m<sup>3</sup>/h</b>
<b>Hauteur</b>	<b>125 m</b>
<b>Pression d'aspiration</b>	<b>0,5bar</b>
<b>Pression de refoulement</b>	<b>13 à 14,5bar</b>
<b>Echauffement</b>	<b>148C<sup>0</sup></b>
<b>Masse total</b>	<b>1675kg</b>

**Tableau.III.1:** plaque signalétique de la pompe

### III.3. Implantation et rôle de la pompe

#### III.3.1. Implantation de la pompe [11]:



**Figure.III.3 :** Schéma présentent le placement de la pompe

Dans ce système, il y a 3 pompes du même type fonctionnant en alternance, l'une est en marche, la seconde est en secoure, et l'autre est en maintenance, pour assurer l'alimentation de la ligne de production en eau de refroidissement.

- La pompe G29 (13 bar) de service.
- La pompe G30 (13 bar) de secoure.
- La pompe G31 (13 bar) en maintenance.



**Figure.III.4 :** La pompe G29



**Figure.III.5 :** La pompe G30



**Figure.III.6 :** La pompe G31

#### III.3.2. Rôle de la pompe 300/LNN750 :

Cette machine joue un rôle important dans le processus de production, car elle est responsable du pompage de l'eau pour refroidir le train de laminage pendant la production

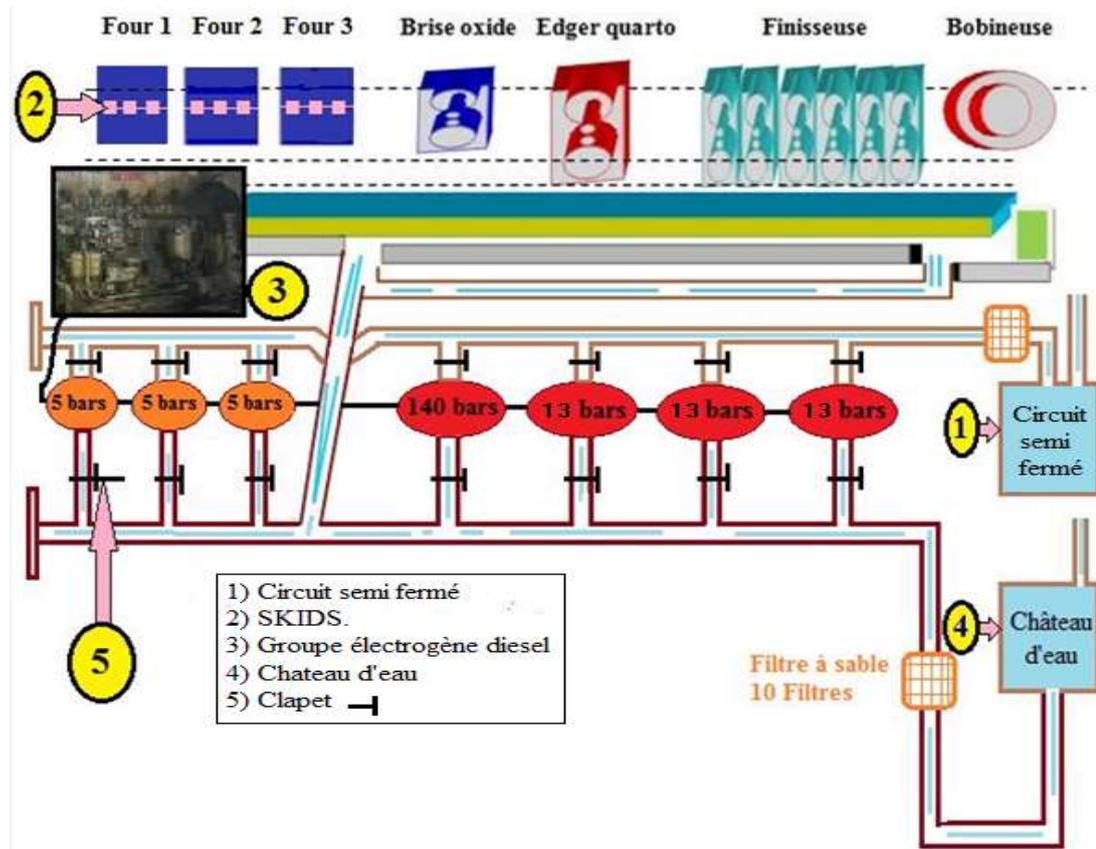


Figure.III.7 : Système refroidissement.

Pendant la production, la pompe (300/LNN750), font l'opération de refroidissement des cylindres de travail avec une pression de 13 bars pour éviter tout risque d'abimer les surfaces des cylindres.

Les pompes (300/LNN750), absorbe l'eau (voir schéma (figure 7) d'installation (1) [circuit semi fermé d'eau]) et la refole aux cylindres, ensuite cette eau fait le retour pour être filtrée et répéter la même opération.

### III.4 Exploitation de l'historique [12] :

L'historique des pannes et d'interventions enregistré s'étale sur une période d'environ 16 mois depuis la mise en service des pompes novembre 2020 jusqu'au mois de février 2022. Le traitement des données brutes de l'historique (Tableaux III-2), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation.

<b>N°</b>	<b>Intervention</b>	<b>Fréquence</b>	<b>TTR[h]</b>
1	Révision de la pompe	7	12.74
2	chute pression	10	3.63
3	Réglage débit	8	4.14
4	Nettoyage la soupape du refoulement	2	5.41
5	Serrage écrou de blocage des roulements de la butée	4	4.16
6	Remise en place la bague para huile	5	2.98
7	Vérifier le lubrifiant	5	2.74
8	Vérifier la méthode utilisée pour remplir de graisse les roulements	4	3.73
9	Travaux à effectuer pour nettoyer l'échangeur de chaleur coté palier externe.	4	1.98
10	Alignement par comparateur ou par laser	5	7.64
11	Elimination fuite	6	8.9
12	Révision palier coté refoulement et coté aspiration	5	16.06
13	Réparation garniture mécanique	3	21.61
14	problème sur le circuit électrique de la pompe	1	18

**Tableau.III.2 : Dossier historique de pompe 300/LNN750.**

**III.5. Etude statistique de l'historique des pannes de la pompe centrifuge (ETUDE FMD)**

**III.5.1. Introduction**

Après la présentation de l'historique des pannes enregistrées sur toute la durée d'exploitation de la pompe centrifuge, nous allons procéder à l'étude et à l'analyse des données.

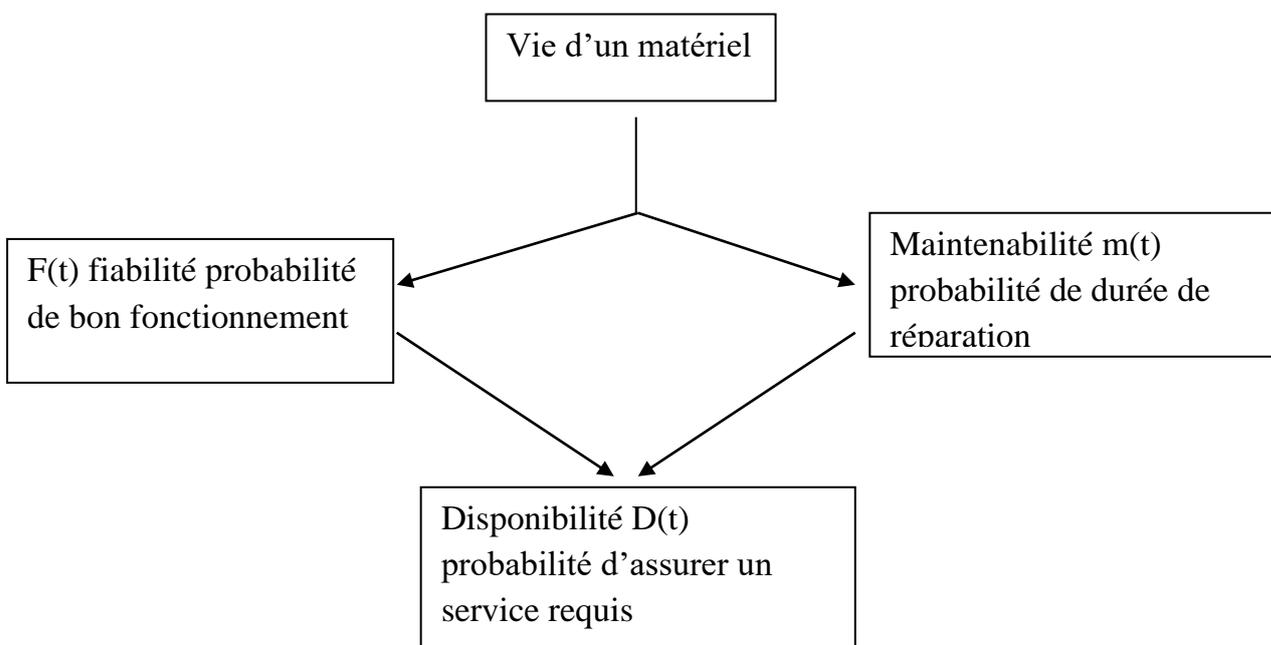
Le présent chapitre sera réservé à une première étude (analyse), appelée la fiabilité, maintenabilité et disponibilité (**FMD**) de la pompe centrifuge, dans laquelle la **Fiabilité** sera déterminée tout en calculant les temps de bon fonctionnement (**TBF**) ainsi que les taux de défaillances, cette première étape est appelée Analyse de défaillance. Dans la deuxième étape on fait une analyse de **Maintenabilité** (réparation) tout en déterminant les temps techniques de réparation (**TTR**) de chaque panne. La troisième étape de l'analyse c'est la synthèse des deux premières, dans laquelle on étudie la **Disponibilité** de la machine.

La deuxième étude a été réservée à l'analyse des types des pannes, leurs origines et leurs natures en utilisant la méthode **ABC** dans le rôle principal est de déterminer la zone prioritaire d'intervention.

**III.5.2 Généralités**

**III.5.2.1 Relation entre les différents paramètres de la FMD**

(Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)



$\lambda(t)$  : taux de défaillance

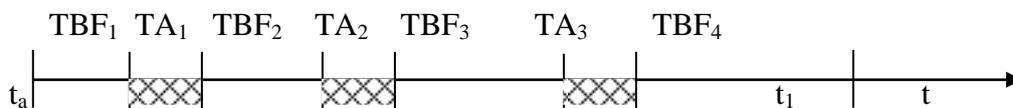
MTBF : Moyenne des temps de bon Fonctionnement.

$$\lambda(t) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

Ces trois concepts sont envisagés soit de façon prévisionnelle. (Avant usage) soit de façon opérationnelle (pendant ou après usages).

Les trois fonctions précédentes notées respectivement  $F(t)$ ,  $m(t)$ ,  $D(t)$  sont des fonctions du temps. Il apparaît indispensable de préciser la notion du temps en maintenance par référence à la norme x60-015.

### La vie d'une machine



TBF : temps de bon fonctionnement

TA : temps d'arrêt

Ces durées peuvent être observées ou estimées.

Une partie (variable) des temps d'arrêt (TA) est constituée des TTR (temps techniques de réparation).

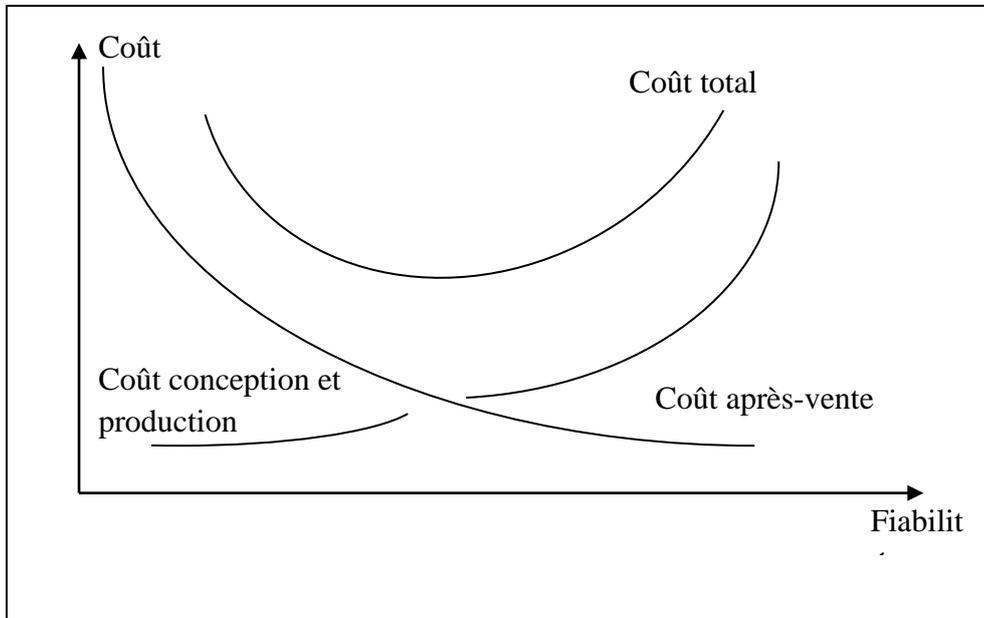


### III.5.2.2 Notions de fiabilité

#### III.5.2.2.a Généralités

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à fonctionner sans incidents pendant un temps donné.

La non-fiabilité augmente les coûts d'après-vente, application des garanties, frais judiciaires, etc. Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.



**Figure.III.8** Evolution des coûts en fonction de l'augmentation de la fiabilité

**Remarques**

- La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de chaque composant. Plus les composants sont nombreux ou complexes est plus la fiabilité est difficile à maîtriser.
- Une très haute qualité pour chaque composant n'entraîne pas nécessairement une grande fiabilité. Après assemblage les interactions qui se produisant diminuent la capacité de l'ensemble.
- Une grande fiabilité sous certaines conditions n'implique pas une grande fiabilité sous d'autres conditions.

**III.5.2.2.b Définitions**

**b) Fiabilité (F) :**

C'est la probabilité ( $0 \leq F \leq 1$ ) qu'a un produit d'accomplir de manière satisfaisante une fonction requise sous des conditions données et pendant une période de temps donnée.

**b) Indicateurs de fiabilité ( $\lambda$ ) et (MTBF)**

Taux de défaillances ou taux d'avarie ( $\lambda$ ) : il représente le pourcentage de défaillances pendant un temps donné.

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillance pendant le service}}{\text{Durée totale de bon fonctionnement}}$$

**Les unités sont :** le nombre de défaillances par heure, le pourcentage de défaillance pour 1000 heures.

**Remarque :** la durée de bon fonctionnement est égal à la durée total en service moins la durée des défaillances.

Un produit ayant  $10^{-7} < \lambda < 10^{-5}$  pour 1000 heures (ou  $10^{-4} < \lambda < 10^{-2}$  par heure) présente un bon niveau commercial de fiabilité.

MTBF (Mean Time Between Failures) temps moyen entre défaillances.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les n défaillance}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

### c) Allures typiques du taux de défaillance $\lambda$

Plusieurs fonctions ou modèles statistiques peuvent être utilisés pour représenter  $\lambda(t)$  qui peut être constant, croissant ou décroissant au cours du temps  $t$ . Pour la majorité des produits industriels, les variations de  $(\lambda)$   $t$  au cours du temps (sortes de courbes en baignoire) présentent trois zones typiques.

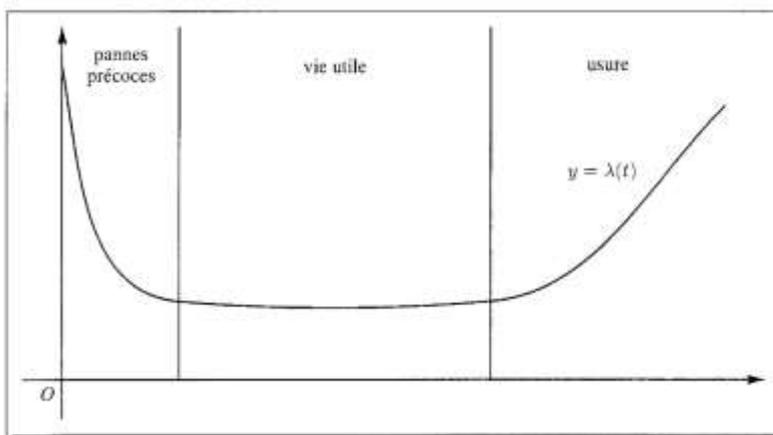


Figure.III.9\_Courbe en baignoire

**Zone 1 (Début de la vie du produit : Pannes précoces) :** les défaillances sont dites de jeunesse (composants neufs avec défauts de fabrication.  $\lambda(t)$  décroît avec le temps.

**Zone 2 (Maturité ou pleine activité du produit : Vie Utile) :**  $\lambda(t)$  est sensiblement constant. C'est le domaine des défaillances imprévisibles ou aléatoires.

**Zone 3 (Vieillesse du produit : Usure) :** les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants.  $\lambda(t)$  croît avec le temps du fait de la dégradation du matériel (usure mécaniques, fatigue, dérive des composants électroniques...). Les lois de fiabilité utilisables sont : loi normale, Gamma, log normale ou Weibull. La durée de vie usuelle d'un produit s'arrête au début de la zone 3.

**Remarque :** Dans le cas des équipements mécaniques  $\lambda(t)$  la courbe est légèrement croissant dans la zone 2 par rapport à celle des équipements électroniques.

### III.5.2.3 Maintenabilité et maintenance

#### III.5.2.3.a Définitions

**a) maintenance :** cette fonction consiste à faire revenir (dépannage ou réparation) ou à maintenir (action préventive) tout dispositif dans son état de fonctionnement normal. Elle s'exprime au moyen de la maintenabilité.

**b) maintenabilité :** Elle traduit la probabilité de remettre un système en état de fonctionner, en un temps donné, dans des conditions données et en retrouvant la fiabilité initiale. Elle s'exprime à l'aide du **MTTR** Augmenter la maintenabilité d'un produit c'est le rendre le plus facilement réparable.

**c).Indicateurs ou critères de maintenabilité (MTTR) et ( $\mu$ ) :**  
MTTR (**Mean Time To Repair**) moyenne des temps de réparation

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Somme des temps de Réparation}}{\text{Nombre de Réparation}} = \text{Temps moyen d'une réparation}$$

**d).Taux de réparation ( $\mu$ ) :**

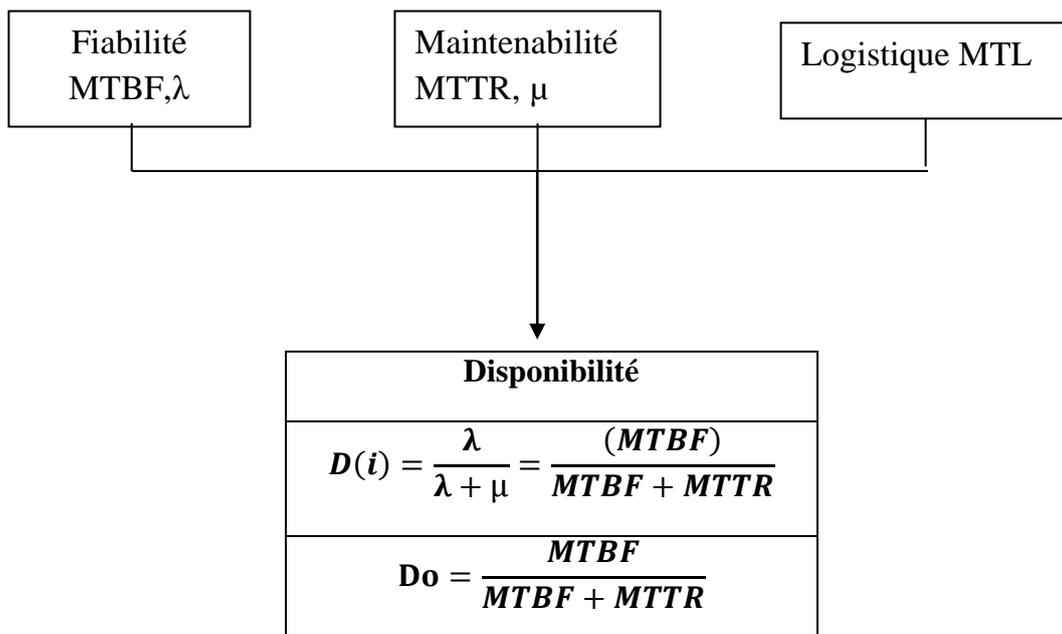
Si  $\mu$  est constant au cours du temps alors

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$

### III.5.2.4 Disponibilité

Elle traduit l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionner dans des conditions données. Elle met en évidence l'aptitude à la réparation d'un dispositif en mesurant l'efficacité de la maintenance.

Une haute disponibilité exige une excellente fiabilité (peu de défaillance), une bonne maintenabilité (une grande rapidité ou de remise en état) et une bonne logistique de maintenance (bonnes procédures d'entretien et de réparation, des moyens en personnel, des stocks de composants).



#### **III.5.2.4.a Définitions**

##### **a) Taux de disponibilité (D)**

$$D = \frac{\text{Temps d'utilisation et temps d'attente}}{\text{temps d'utilisation et temps d'attente} + \text{Temps de maintenance}}$$

##### **b) Disponibilité intrinsèque $D_i$**

Elle exclut la maintenance préventive, les délais logistiques (attentes fournitures...) et les délais administratifs

$$D(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

##### **c) Disponibilité opérationnelle $D_o$**

Elle prend en compte les délais logistiques avec le MTL (Moyenne des Temps Logistiques de maintenance).

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$$

### **III.5.3 application de l'analyse FMD pour l'étude du comportement de la pompe centrifuge**

#### **III.5.3.1 Etude de fiabilité**

A partir de l'historique des pannes donné par les responsables du service maintenance au sein du laminoir à chaud et pour pouvoir étudier la fiabilité de La machine, il est nécessaire de déterminer les temps de bon fonctionnement entre les différentes pannes durant toute la période d'exploitation et cela en prenant en considération la charge moyenne de travail et le temps d'arrêt de chaque panne. Connaissant les temps d'arrêt qui sont mentionnés dans l'historique et en sachant que le temps effectif de travail journalier de l'entreprise est de 24 heures par jour (production continue de l'énergie électrique nécessaire pour l'usine), il est facile de calculer les TBF entre les différentes pannes.

##### **a) Calcul des temps de bon fonctionnement (TBF)**

Si on prend la période étendue entre deux pannes successives, et sachant que les agents de maintenance travaillent vingt-quatre heures par jour, et en tenant compte des jours de repos et fériés ; il est facile de calculer les différentes TBF de la pompe centrifuge.

Après tout calcul fait, les TBF que nous avons enregistrés sont données par le tableau suivant.

	TBF(h)
TBF1	327,17
TBF2	34,17
TBF3	50,33
TBF4	23,25
TBF5	108,75
TBF6	189,17
TBF7	50,83
TBF8	62,17
TBF9	146,83
TBF10	51,41
TBF11	57,91
TBF12	28,58
TBF13	96,08
TBF14	37,5
TBF15	41,58
TBF16	79,5
TBF17	446,67
TBF18	36,5
TBF19	65,5
TBF20	78,25
TBF21	17,58
TBF22	156,5
TBF23	66,17

	TBF(h)
TBF24	100,75
TBF25	33,58
TBF26	46,5
TBF27	177,75
TBF28	25,08
TBF29	268,5
TBF30	44,75
TBF31	48,5
TBF32	278,83
TBF33	37,75
TBF34	20,55
TBF35	36,83
TBF36	458,33
TBF37	54,17
TBF38	46,91
TBF39	23,83
TBF40	186
TBF41	34,67
TBF42	17,5
TBF43	23,25
TBF44	56,91
TBF45	23,42
TBF46	62,25

	TBF(h)
TBF47	19,25
TBF48	80,91
TBF49	317,67
TBF50	482,91
TBF51	190
TBF52	631,08
TBF53	25,08
TBF54	40,67
TBF55	1662,33
TBF56	39,08
TBF57	16
TBF58	156,25
TBF59	180,25
TBF60	126,67
TBF61	364,33
TBF62	18,75
TBF63	42,75
TBF64	68,58
TBF65	19,5
TBF66	112,08
TBF67	140,83
TBF68	28,08
TBF69	338,75

**Tableau.III.3** : Les TBF de la pompe 300/LNN750

Afin de faciliter le calcul et les interprétations ainsi que les recommandations éventuelles. Pour une meilleure étude de fiabilité, nous avons préféré faire l'étude par période ce qui nous a conduit à déterminer les moyens de temps de bon fonctionnement **MTBF** correspondant à un nombre donné de pannes.

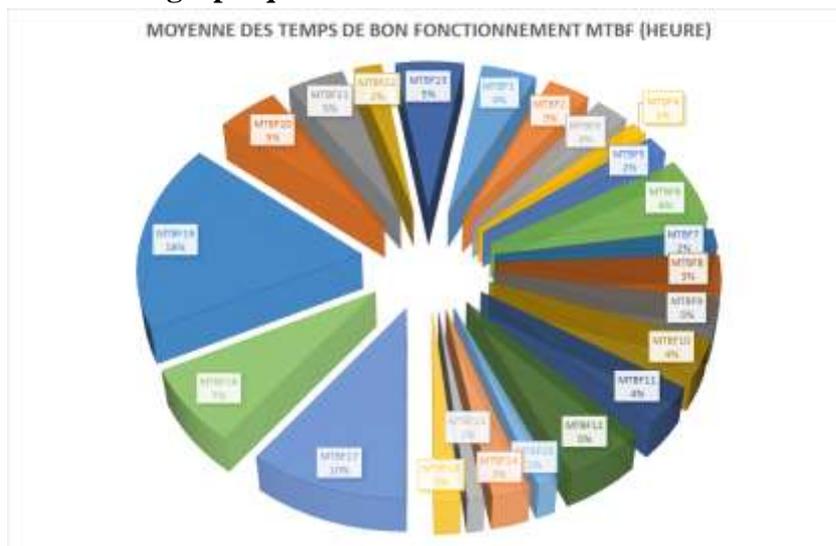
b) Calcul des moyennes des temps de bon fonctionnement (MTBF)  
Après tout calcul fait, les MTBF seront données par le tableau suivant :

$$MTBF1 = \frac{(TBF1 + TBF2 + TBF3)}{3} = 137.22 \text{ heure}$$

	MTBF (heure)		MTBF (heure)
MTBF1	137,22	MTBF13	41,64
MTBF2	107,06	MTBF14	79,39
MTBF3	86,61	MTBF15	34,53
MTBF4	45,97	MTBF16	54,14
MTBF5	58,39	MTBF17	330,19
MTBF6	187,56	MTBF18	232,28
MTBF7	53,78	MTBF19	572,47
MTBF8	107,81	MTBF20	154,39
MTBF9	85,94	MTBF21	141,94
MTBF10	112,78	MTBF22	66,72
MTBF11	121,69	MTBF23	169,22
MTBF12	171,90		

**Tableau.III.4** : Les MTBF de la pompe

**C) Représentation graphique des MTBF**



**Figure.III.10** : Représentation des MTBF en fonction du temps (périodes).

**d) Interprétation**

La représentation graphique des moyennes de temps bon fonctionnement (MTBF) en fonction des périodes d'exploitation de la pompe centrifuge nous a permis de bien distinguer, les périodes dans lesquelles la machine a été le mieux exploiter, de celles dans lesquelles a été le moins utilisé.

Ainsi, nous pouvons dire que la plus part des MTBF sont sensiblement égales, qui nous a poussé à dire, comme première constatation, que la pompe est fort possible qu'elle soit en période de maturité (chose à vérifier par les lois de fiabilité : exemple Weibull).

**e) Taux de défaillance**

Parmi les facteurs les plus importants dans l'étude de fiabilité c'est le taux de défaillance (nombre de pannes par heure) dont la valeur donne d'une façon significative un aperçu sur le rendement et l'état de la pompe centrifuge et qui influe directement sur la durée de vie des éléments qui la constituent. Connaissant les moyennes des temps de bon fonctionnement de chaque période, Il est facile de calculer les taux de défaillances correspondantes et d'en tirer la conclusion.

**f) Calcul des taux de défaillance (Mλ<sub>i</sub>)**

\* le taux de défaillance par période est donnée par  $M\lambda_i = 1/MTBF_i$

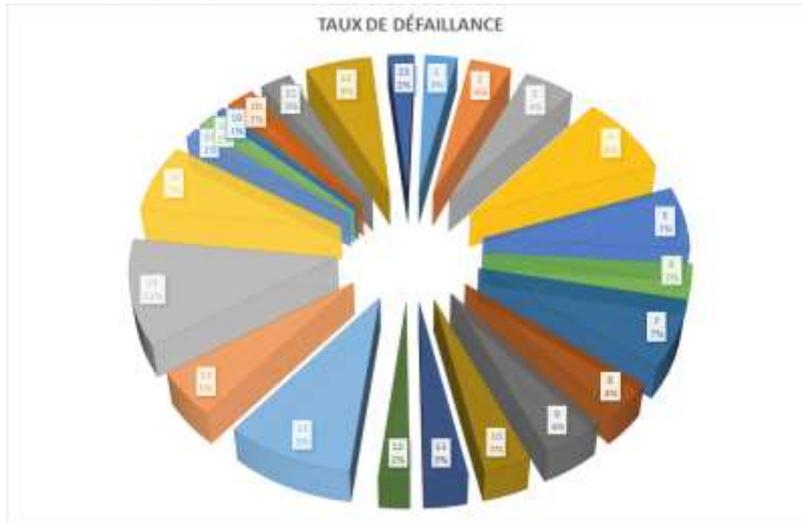
$$M\lambda_1 = \frac{1}{MTBF_1} = \frac{1}{137} = 0.73 * 10^{-2} \text{ panne/heure}$$

Après tout calcul fait les Mλ<sub>i</sub> seront données par le tableau suivant :

	Taux de défaillance		Taux de défaillance
Mλ <sub>1</sub>	7,29E-03	Mλ <sub>13</sub>	2,40E-02
Mλ <sub>2</sub>	9,34E-03	Mλ <sub>14</sub>	1,26E-02
Mλ <sub>3</sub>	1,15E-02	Mλ <sub>15</sub>	2,90E-02
Mλ <sub>4</sub>	2,18E-02	Mλ <sub>16</sub>	1,85E-02
Mλ <sub>5</sub>	1,71E-02	Mλ <sub>17</sub>	3,03E-03
Mλ <sub>6</sub>	5,33E-03	Mλ <sub>18</sub>	4,31E-03
Mλ <sub>7</sub>	1,86E-02	Mλ <sub>19</sub>	1,75E-03
Mλ <sub>8</sub>	9,28E-03	Mλ <sub>20</sub>	6,48E-03
Mλ <sub>9</sub>	1,16E-02	Mλ <sub>21</sub>	7,05E-03
Mλ <sub>10</sub>	8,87E-03	Mλ <sub>22</sub>	1,50E-02
Mλ <sub>11</sub>	8,22E-03	Mλ <sub>i23</sub>	5,91E-03
Mλ <sub>12</sub>	5,82E-03		

**Tableau.III.5 : Les taux de défaillances**

**Représentation graphique des taux de défaillance**



**Figure.III.2 :**Représentation des taux de défaillance.

**Interprétation :**

Le taux de défaillance en fonction des périodes d’exploitation est donné par la figure 11. La première conclusion qu’on peut tirer à partir de cet histogramme c’est que le taux de défaillance est faible est sensiblement constant le long des différentes périodes d’exploitation.

Une seconde fois, on peut dire que la pompe est en période de maturité (chose qui sera confirmé plus loin).

**III.5.3.2 Etude de maintenabilité**

Les deux principaux indicateurs (critères) de maintenabilité sont :

Moyenne des temps techniques de réparation (MTTR), cette moyenne est calculée à la base des temps (élémentaires) techniques de réparation (TTR) pour chaque panne et cela pour une période bien déterminée ;

Taux de réparation ( $\mu$ ), une fois les MTTR sont connues, il est facile de calculer les taux de réparation correspondants à chaque MTTR des différentes périodes d’exploitation.

**a) Tableau des temps technique de réparation (TTR).**

Les différentes valeurs des TTR sont données dans le tableau suivant:

	TTR(h)
TTR1	1,33
TTR2	0,58
TTR3	0,41
TTR4	3,25
TTR5	0,75

	TTR(h)
TTR24	0,83
TTR25	2,33
TTR26	0,5
TTR27	1,16
TTR28	0,91

	TTR(h)
TTR47	1,16
TTR48	2,08
TTR49	0,58
TTR50	0,58
TTR51	0,83

TTR6	0,5
TTR7	0,66
TTR8	0,33
TTR9	0,83
TTR10	0,58
TTR11	0,66
TTR12	0,25
TTR13	0,58
TTR14	0,16
TTR15	0,25
TTR16	0,41
TTR17	2,33
TTR18	0,41
TTR19	0,33
TTR20	1
TTR21	2
TTR22	0,83
TTR23	0,33

TTR29	0,66
TTR30	1,16
TTR31	0,16
TTR32	1,33
TTR33	1
TTR34	1
TTR35	7,2
TTR36	1,5
TTR37	2,25
TTR38	0,66
TTR39	0,66
TTR40	6,75
TTR41	2,16
TTR42	4,16
TTR43	1,16
TTR44	2,16
TTR45	3,08
TTR46	2,75

TTR52	1,33
TTR53	0,25
TTR54	2
TTR55	0,58
TTR56	0,33
TTR57	0,25
TTR58	0,5
TTR59	1,08
TTR60	0,41
TTR61	5,66
TTR62	0,5
TTR63	0,83
TTR64	0,66
TTR65	0,75
TTR66	18
TTR67	1,58
TTR68	1,83
TTR69	7,66

**Tableau.III.6 : Les TTR de la pompe**

**b) Calcul des moyennes des temps techniques de réparation (MTTR) période par heure.**

Puisque on travaille par période nous serons toujours dans l'obligation de calculer les valeurs moyennes des TTR.

$$MTTR_i = \frac{TTR_i}{\text{Nombre de pannes par période}}$$

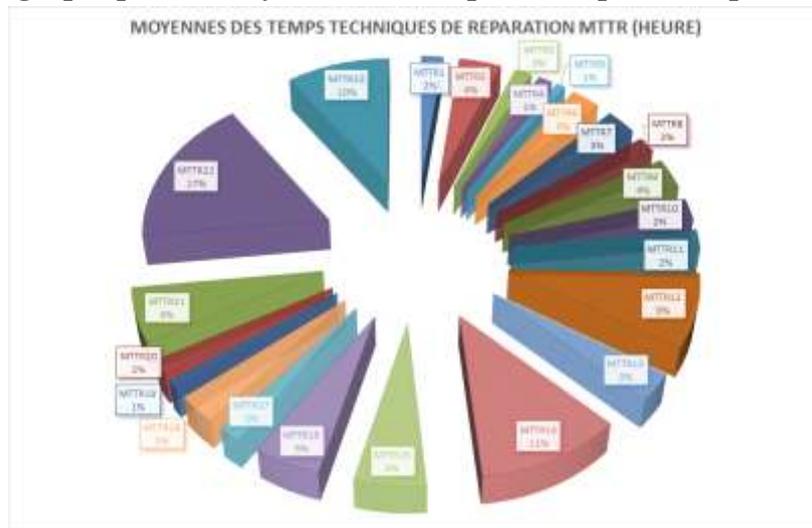
Après tout calcul fait, nous trouvons les MTTR<sub>i</sub> dans le tableau suivant :

$$MTTR_1 = \frac{TTR_1 + TTR_2 + TTR_3}{3} = 0.77 \text{ heures}$$

	MTTR(h)		MTTR(h)
MTTR1	0,77	MTTR13	1,19
MTTR2	1,50	MTTR14	4,36
MTTR3	0,61	MTTR15	2,13
MTTR4	0,50	MTTR16	2,00
MTTR5	0,33	MTTR17	0,66
MTTR6	1,05	MTTR18	1,19
MTTR7	1,11	MTTR19	0,39
MTTR8	0,66	MTTR20	0,66
MTTR9	1,33	MTTR21	2,33
MTTR10	0,91	MTTR22	6,47
MTTR11	0,83	MTTR23	3,69
MTTR12	3,23		

**Tableau.III.7 :** Les MTTR de la pompe

**Représentation graphique des moyennes des temps techniques de réparation (MTTR)**



**Figure.III.3** Représentation des MTTRi

**Interprétation**

La représentation graphique des moyennes des temps techniques de réparation montre bien que les différentes valeurs sont faibles et sont constants).

Les faibles valeurs des MTTR montre l'efficacité et la rapidité dans les interventions des techniciens et ingénieurs du service maintenance et montre également l'importance de la pompe centrifuge au sein du LAC.

**c) Calcul des taux de réparation ( $\mu$ ) par période**

Connaissant les différentes valeurs des MTTR<sub>i</sub>, il est facile de calculer les taux de réparation de chaque période.

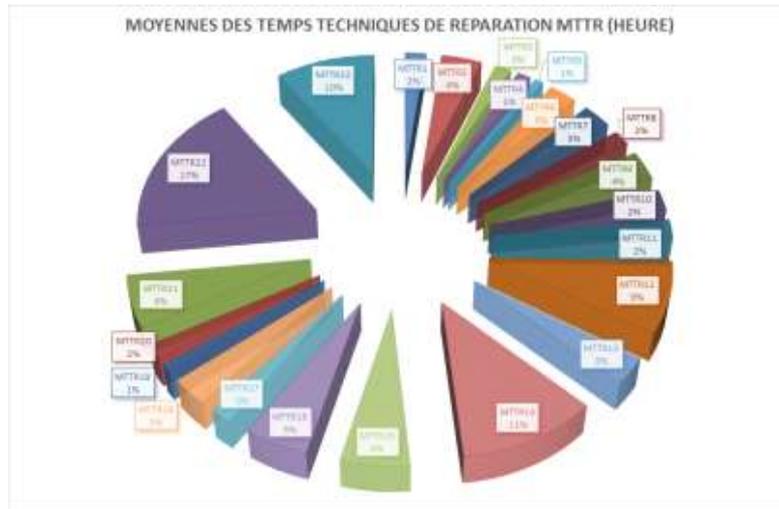
$$\mu_1 = \frac{1}{\text{MTTR}_1}$$

Après tout calcul fait, les valeurs des taux de réparation  $\mu_i$  seront données par le tableau suivant :

$$\mu_1 = \frac{1}{\text{MTTR}_1} = \frac{1}{0.77} = 1.3$$

	Taux de réparation		Taux de réparation
$\mu_1$	1,30E+00	$\mu_{13}$	8,40E-01
$\mu_2$	6,67E-01	$\mu_{14}$	2,29E-01
$\mu_3$	1,64E+00	$\mu_{15}$	4,69E-01
$\mu_4$	2,00E+00	$\mu_{16}$	5,00E-01
$\mu_5$	3,03E+00	$\mu_{17}$	1,52E+00
$\mu_6$	9,52E-01	$\mu_{18}$	8,40E-01
$\mu_7$	9,01E-01	$\mu_{19}$	2,56E+00
$\mu_8$	1,52E+00	$\mu_{20}$	1,52E+00
$\mu_9$	7,52E-01	$\mu_{21}$	4,29E-01
$\mu_{10}$	1,10E+00	$\mu_{22}$	1,55E-01
$\mu_{11}$	1,20E+00	$\mu_{23}$	2,71E-01
$\mu_{12}$	3,10E-01		

**Tableau.III.8 : Les Taux de réparation****Représentation graphique des taux de réparation ( $\mu$ )**



**Figure.III.4** Représentation des taux de réparation

**Interprétation**

La connaissance des MTTR nous a permis de représenter graphiquement les taux de réparation correspondants à chaque période d'exploitation. La première constatation de l'histogramme est que l'évolution du taux de réparation varie d'une façon aléatoire, mais tout de même on peut signaler que ce taux est important et sensiblement constant.

**III.5.3.3 Introduction pour le calcul de la disponibilité**

Connaissant les moyennes des temps de bon fonctionnement (MTBF) et les moyennes des temps techniques de réparation (MTTR), il est facile de calculer le troisième facteur de l'étude de la FMD, qui est la disponibilité, dont la détermination met en évidence l'aptitude de l'engin à la réparation, tout en visant une meilleure organisation de la maintenance.

**Calcul de disponibilité (D)**

Partant des différentes valeurs des MTBF<sub>i</sub> et MTTR<sub>i</sub>, on peut calculer les disponibilités correspondantes :

**Exemple de calcul:**

$$D1 = \frac{MTBF1}{MTBF1 + MTTR1}$$

L'ensemble des valeurs des D<sub>i</sub> sont données par le tableau suivant :

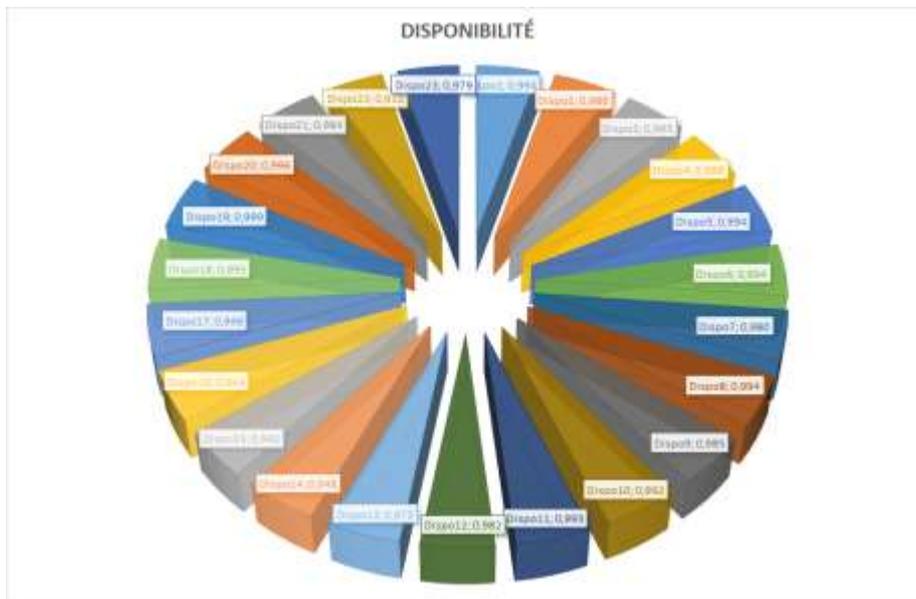
	Disponibilité
Dispo1	0,994
Dispo2	0,986
Dispo3	0,993
Dispo4	0,989

	Disponibilité
Dispo13	0,972
Dispo14	0,948
Dispo15	0,942
Dispo16	0,964

Dispo5	0,994	Dispo17	0,998
Dispo6	0,994	Dispo18	0,995
Dispo7	0,980	Dispo19	0,999
Dispo8	0,994	Dispo20	0,996
Dispo9	0,985	Dispo21	0,984
Dispo10	0,992	Dispo22	0,912
Dispo11	0,993	Dispo23	0,979
Dispo12	0,982		

**Tableau.III.9** : Les disponibilités de la pompe

### Représentation graphique de disponibilité (D)



**Figure.III.5** Représentation des disponibilités.

### Interprétation

La figure 14 représente l'évolution de la disponibilité de la pompe sur l'ensemble des périodes d'exploitation et montre clairement la disponibilité de la pompe pour servir le LAC.

## III.6 ETUDES DES PANNES PAR TYPES

### III.6.1 Analyse prévisionnelle des dysfonctionnements « ABC Pareto »

Reprenant le principe du diagramme de Pareto, la méthode ABC propose de distinguer trois classes A, B et C qui se distribuent de la manière suivante :

- Classe **A** : Les items accumulant 80% de l'effet observé
- Classe **B** : Les items accumulant les 15% suivants
- Classe **C** : Les items accumulant les 5% restants

<b>Ran g</b>	<b>Panne</b>	<b>Temps d'arrê t[h]</b>	<b>Cumul (T-R)</b>	<b>% (T-R)</b>	<b>N° bre de Panne</b>	<b>Cumul N°bre de Panne</b>	<b>% Cumul Nbre Panne</b>
1	Réparation garniture mécanique	21.61	21.61	19	3	3	4.34
2	problème sur le circuit électrique de la pompe	18	39.61	34.83	1	4	5.79
3	Révision palier coté refoulement et coté aspiration	16.06	55.67	48.95	5	9	13.04
4	Révision de la pompe	12.74	68.41	60.15	7	16	23.19
5	Elimination fuite	8.9	77.31	67.98	6	22	31.88
6	Alignement par comparateur ou par laser	7.64	84.95	74.70	5	27	39.13
7	Nettoyage la soupape du refoulement	5.41	90.36	79.46	2	29	42.03
8	Serrage écrou de blocage des roulements de la butée	4.16	94.52	83.12	4	33	47.83
9	Réglage débit	4.14	98.66	86.76	8	41	59.42
10	Vérifier la méthode utilisée pour remplir de graisse les roulements.	3.73	102.39	90.04	4	45	65.21
11	Chute pression	3.63	106.02	93.23	10	55	79.71
12	Remise en place la bague para huile.	2.98	109	95.85	5	60	86.95

13	Vérifier le lubrifiant	2.74	111.74	98.26	5	65	94.20
14	Travaux à effectuer pour nettoyer l'échangeur de chaleur coté palier externe.	1.98	113.72	100	4	69	100

**Tableau.III.10** : La Méthode Pareto Pompe Centrifuge 300/LNN750

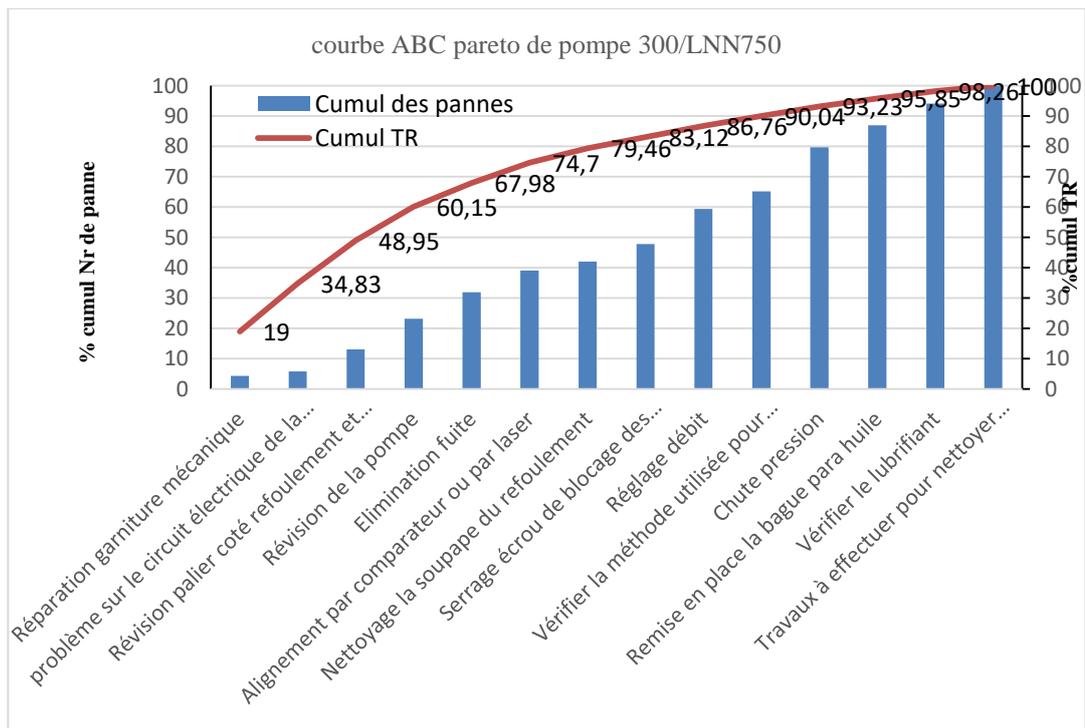
**Analyse ABC de Pareto :**

Les informations données par le tableau permettent de reporter dans un repère orthonormé :

- En abscisses, les pannes étudiées en % cumulés,
- En ordonnées, les valeurs du critère (TTR) en % cumulés.

En reliant les points ainsi obtenus, une courbe ascendante doit apparaître sur laquelle il ne reste plus qu'à indiquer les limites des différents groupes.

L'application de ce principe à donner naissance à la figure (III.10) représentant ainsi la courbe ABC l'histogramme de Pareto relatifs à l'historique de la pompe centrifuge 300/LNN750.



**Figure.III.6** Histogramme de Pareto du 300/LNN750.

Dans le graphique ci-dessus, les sept premiers items accumulent 80% des effets, c'est la classe **A**.

Les cinq items suivants font monter les pourcentages cumulés à 95%, soit à eux seuls 15%. Selon la convention, ils représentent la classe **B**.

Les deux derniers items accumulent les cinq derniers pourcent. Ils représentent la classe **C**.

**III.6.2. Etude de la sûreté de fonctionnement de la pompe centrifuge « WEIBULL »**

**III.6.2.1 Présentation du logiciel FIABOPTIM**

**FIABOPTIM** : est un logiciel destiné à l'analyse numérique et graphique des données de fiabilité. Il permet, à partir de données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié pour les dates (temps, cycles, km, etc...) désirées. Conçu par des spécialistes de la fiabilité ayant une grande expérience du terrain, **FIABOPTIM** se veut un outil pratique, simple et efficace. Son aspect pratique provient de la connaissance acquise par la société **OPTIM DEVELOPPEMENT** des problèmes concrets rencontrés par les entreprises, notamment dans les évaluations de fiabilité prévisionnelle de leur produit [17].

**III.6.2.2 Application du modèle de WEIBULL :**

Etant donné que le modèle de Weibull est le plus complet, nous l'avons appliqué pour le pompe 300/LNN750.

**Calcul des paramètres de WEIBULL :**

Dans notre cas : pompe 300/LNN750 : N = 23

$$F(i) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4}$$

Une fois les F(i) calculés par la méthode des ranges médians sont trouvés on peut facilement tracer la courbe de Weibull qui en résulte.

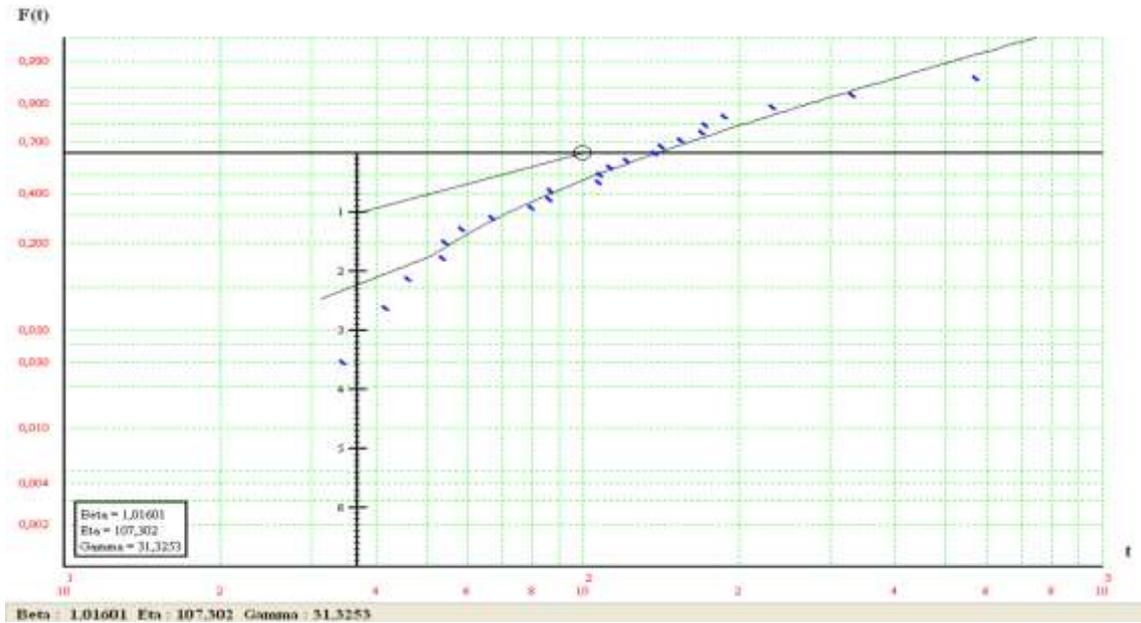
**III.6.2.3 Application sur la pompe centrifuge 300/LNN750**

<b>i</b>	<b>MTBF (heure)</b>	<b>I</b>	<b>MTBF (heure)</b>
1	34.53	13	112.78
2	41.64	14	121.69
3	45.97	15	137.22
4	53.78	16	141.94
5	54.14	17	154.39
6	58,39	18	169.22
7	66.72	19	171.90
8	79.39	20	187.56
9	85,94	21	232.28
10	86.61	22	330.19
11	107.06	23	572.47
12	107.81		

**Tableau.III.11** : Les MTBF de la pompe

L'utilisation du logiciel FIABOPTIM nous a permis de déterminer aisément les trois coefficients du modèle de Weibull sans avoir recours au travail manuel.

La détermination des paramètres du modèle de Weibull (figure III-16) à partir de la méthode de l'actuariat est faite aisément par l'introduction des différents MTBF ainsi que le choix des méthodes de résolution du problème dans le logiciel.



**Figure.III.7** Papier de Weibull et les différents paramètres du modèle appliqué sur la pompe centrifuge 300/LNN750

D'après le papier Weibull (figure III-16), on a pu déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull qui sont :

- $\beta = 1.01601$  (Période de la maturité)
- $\eta = 107.302$  h
- $\gamma = 31.3253$  h

N <sup>o</sup>	MTBF (heure)	F(i)	F(t)	D <sub>n,max</sub> =  (i) – F(t)
1	34.53	0,029	0,029	0,000
2	41.64	0,072	0,093	0,021
3	45.97	0,115	0,129	0,014
4	53.78	0,158	0,191	0,033
5	54.14	0,200	0,194	0,006
6	58,39	0,243	0,226	0,017
7	66.72	0,286	0,284	0,002
8	79.39	0,329	0,365	0,036
9	85,94	0,371	0,403	0,032
10	86.61	0,414	0,407	0,007

11	107.06	0,457	0,511	0,054
12	107.81	0,500	0,515	0,015
13	112.78	0,542	0,537	0,005
14	121.69	0.585	0,575	0.010
15	137.22	0.628	0,633	0.005
16	141.94	0.670	0,649	0.021
17	154.39	0.713	0,688	0.025
18	169.22	0.756	0,729	0.027
19	171.90	0.799	0,735	0.064
20	187.56	0.841	0,772	0.069
21	232.28	0.884	0,850	0.034
22	330.19	0.927	0,940	0.013
23	572.47	0.970	0,994	0.024

**Tableau.III.12 : Calcule les paramètres de WUIBLL**

Après avoir calculé les  $D_n$ , on a trouvé que :  $D_n, \max = 0,069$

**Depuis l'annexe A :**

$N = 23$ , en posant que :  $\alpha = 0,2$  et en se référant à la table du test K-S,  $D_n, \alpha = 0,231$

Il apparait que :  $D_n, \max < D_n, \alpha$ , le modèle de Weibull est donc acceptable

**Depuis l'annexe B :**

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B en fonction de la valeur  $\beta$  :

$$A = 1,000 \text{ \& } B = 1,000$$

**Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) :**

$$MTBF = A \cdot \eta + \gamma$$

$$MTBF = (1,00 \cdot 107.302) + 31.3253$$

$$MTBF = 138.6273 \text{ h}$$

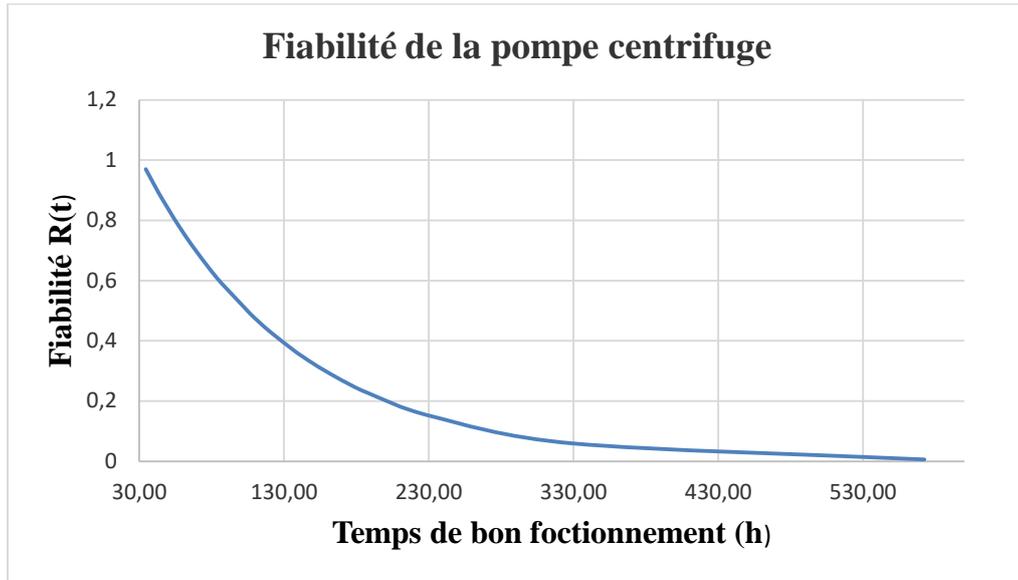
**Loi de fiabilité :**

La fonction de fiabilité est donnée par l'équation de  $R(t)$  :

On a :  $t = MTBF$

$$\text{Fiabilité} = R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-31.3253}{107.302}\right)^{1.01601}}$$

$$R(t=MTBF) = 0.3678 = 36.78\%$$



**Figure.III.8** Fonction de fiabilité R(t)

**Interprétation :**

La figure III-17 représente la variation de la fonction de fiabilité R(t) en fonction du temps de bon fonctionnement de la pompe centrifuge 300/LNN750 qui est décroissante avec le temps ce qui est de même pour la probabilité de bon fonctionnement.

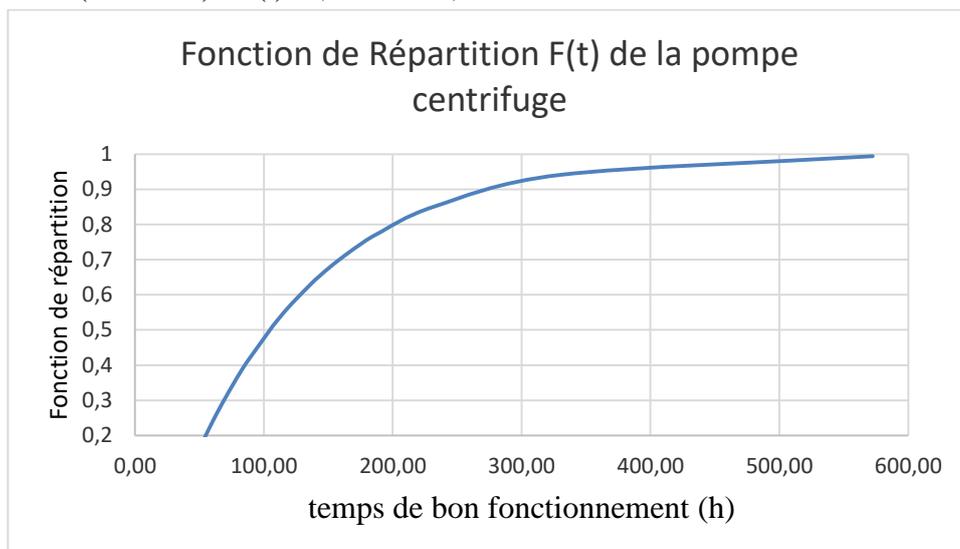
En plus, la valeur de la fiabilité pour t=MTBF est égale à 36,78% ce qui implique que la pompe 300/LNN750 à 36,78% de chances de vivre jusqu'à la MTBF ce qui la rend moins fiable (bien qu'elle soit en période de maturité).

La deuxième loi de fiabilité est la fonction de défaillance (fonction de réparation) F(t).

Son expression est la suivante :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-31.3253}{107.302}\right)^{1.01601}}$$

Pour (t=MTBF) : F(t)=0,6322= 63,22%



**Figure.III.18** Fonction de défaillance F(t)

**Interprétation :**

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d’avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour

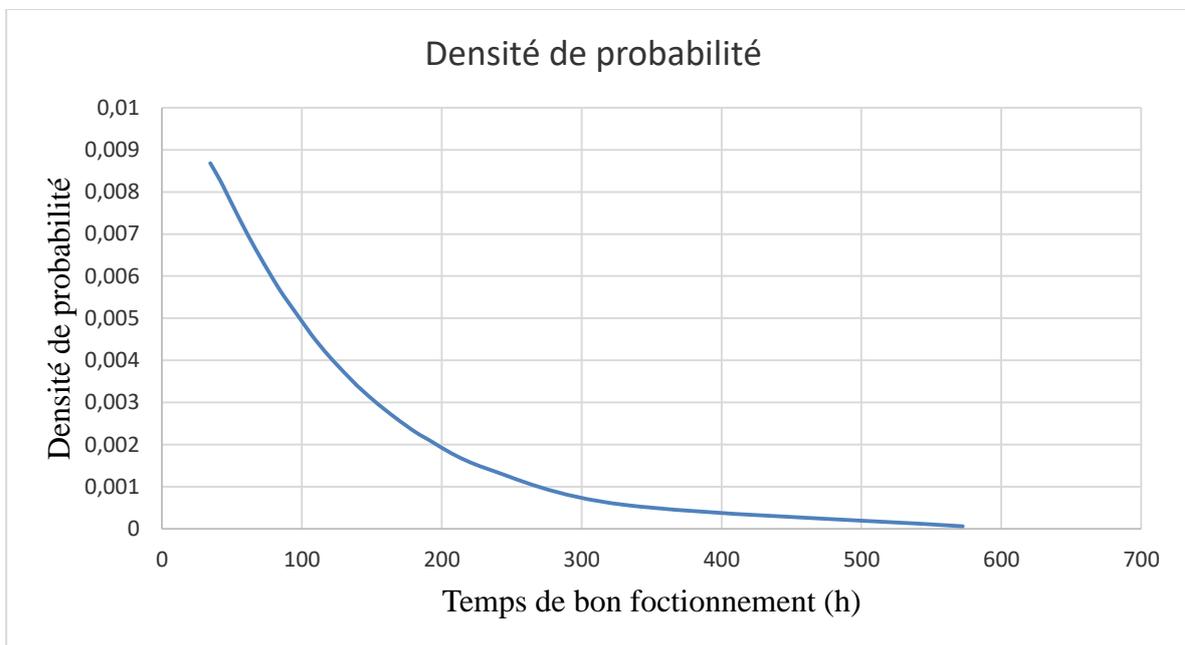
$t=MTBF$  est égale à 63,22%, ce qui implique que la pompe a 63,22% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme le résultat précédent, ( $\beta > 1$  période de maturité).

La densité de probabilité de défaillance  $f(t)$ . Elle permet d’estimer à n’importe quel instant la densité d’avoir une panne :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$f(t) = \frac{1.01601}{107.302} \left( \frac{138.6273 - 31.3253}{107.302} \right)^{1.01601-1} * e^{-\left(\frac{138.6273-31.3253}{107.302}\right)^{1.01601}}$$

$$f(t) = 0.00128$$



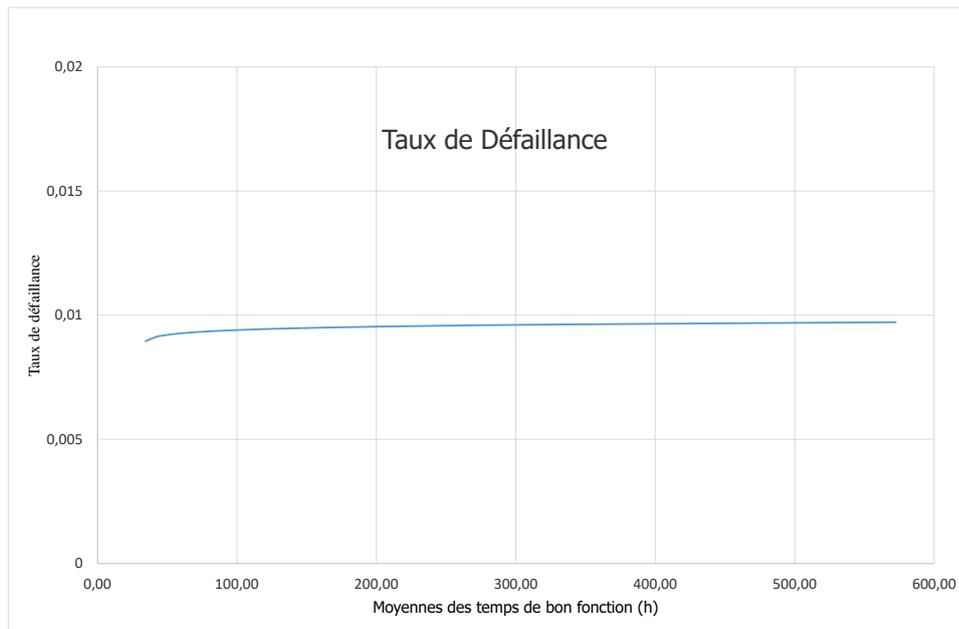
**Figure.III.19** Densité de probabilité de défaillance  $f(t)$

Dans la figure (III-19) nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu’il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 138.6273h.

Enfin le taux de défaillance est donné par l’expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \lambda(t) = \frac{1.01601}{107.302} \left(\frac{t-31.3253}{107.302}\right)^{1.01601-1}$$

$$\lambda(t) = 0.0095$$



**Figure.III.9 :** Le taux de défaillance  $\lambda(t)$

**Interprétation :**

Le taux de défaillance affiche, au début, une légère fluctuation de l’allure de la courbe pour prendre par la suite une allure stable ; cette petite variation peut être expliquée par le fait que la pompe vient de sortir d’un âge vers une autre période de vie. Ceci est expliqué par le fait que le paramètre  $\beta$  de la loi de Weibull est presque égal à 1 (1.01601) montrant ainsi que le matériel vient d’entrer dans la période de maturité.

**III.6.3. Récapitulation des résultats de l’étude de fiabilité de la pompe 300/LNN750 :**

<b>Machine</b>	<b>MTBF(h)</b>	<b>Période de vie</b>	<b>Fiable ?</b>	<b>R(t=MTBF)</b>
<b>300/LNN750</b>	<b>138.6372</b>	<b>Maturité</b>	<b>NON</b>	<b>36.78%</b>

**Tableau.III.13 :** résultats de l’étude de fiabilité de la pompe

### **Conclusion**

Ce chapitre a été consacré principalement à l'étude quantitative de la pompe centrifuge 300/LNN750 de LAC SIDER ELHADJAR et cela à partir d'un historique de pannes et d'interventions, fourni par le service maintenance.

L'analyse faite, en premier lieu, en utilisant la méthode ABC de PARETO nous a permis de distinguer les pannes critiques, majeures et mineures en les séparant en différentes zones. La deuxième partie de ce chapitre a été réservée à la détermination des paramètres de Weibull afin de reconnaître la phase de vie de notre pompe.

A cet effet et selon les résultats obtenus ( $\beta \approx 1$ ) il s'avère tout à fait clair que la 300/LNN750 se situe dans la fin de la phase de jeunesse et début de la phase de maturité dont le taux de défaillance tend à prendre une valeur constante le long de la période d'étude.

Le fait que la pompe a entamé une nouvelle période qui la phase de maturité, nous conseillons le service maintenance de dresser un planning de surveillance en terme d'entretien préventif tout en gardant l'œil sur les pannes imprévues (maintenance systématique et même conditionnelle).

## Chapitre IV

### Analyse qualitative par l'AMDEC, arbre de défaillances

#### IV.1 Introduction :

Pour schématiser, il existe deux sortes de défaillances : les défaillances qui se sont déjà produites et celles que l'on ignore encore. Si la première catégorie justifie à elle seule le rôle de la maintenance, la seconde doit être une préoccupation permanente.

Maintenir c'est aussi prévenir et prévenir peut se faire avec efficacité par des soins réguliers et une attention soutenue mais l'idéal est encore de connaître à l'avance où (sur quoi) et quand une défaillance peut se produire. L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), méthode d'analyse inductive, qualitative et quantitative permet de réduire ces incertitudes. Il est très avantageux - voire nécessaire dans certains cas analyse par une réflexion déductive telle que la méthode des Arbres de Défaillance (AdD).

Sur la base de cette analyse, il est facile d'élaborer des procédures préventives et correctives pour mieux gérer les stratégies de maintenance (qui doivent être prises plus au sérieux dans ce système complexe).

Le but à la fin de ce chapitre, est de proposer un calendrier d'entretien et de surveillance de notre pompe centrifuge.

#### IV.2 Généralités sur les pompes :

Les pompes sont les générateurs de débit à la base de tous systèmes hydrauliques. Dans un circuit hydraulique, leur rôle est de faire circuler un fluide qui va permettre de déplacer des charges grâce à d'autres composants tels que des vérins ou des moteurs [15].

Ou en d'autres termes, les pompes fournissent la force motrice nécessaire pour élever des liquides et (ou) les forcer contre la résistance d'un réseau de tuyauteries ou d'un système de procédés [16].

##### IV.2.1 Type de pompes

Les pompes se regroupent dans deux catégories principales, soit les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. La figure IV.1 classe les pompes d'usage courant dans les installations industrielles, les bâtiments commerciaux et les immeubles de caractère public...

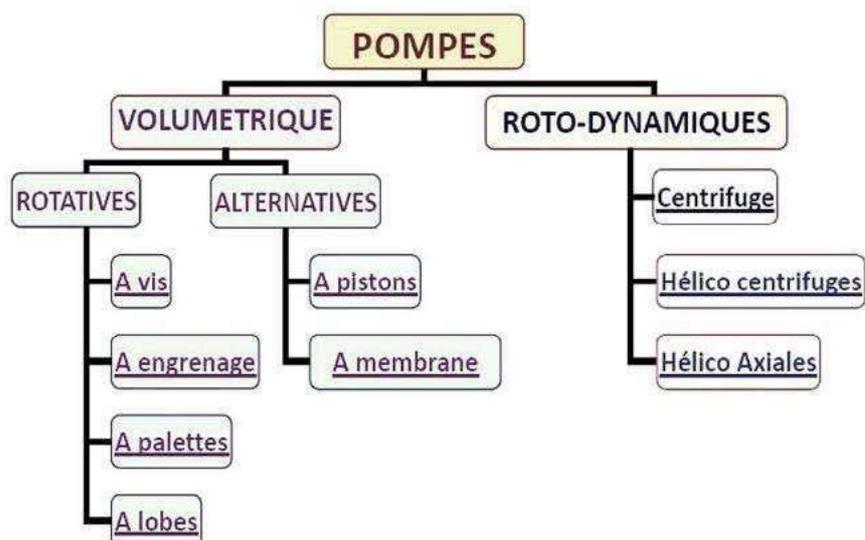


Figure.VI.1 : Type de pompe

Les pompes peuvent être classées en fonction des applications qu'elles desservent, des matériaux à partir desquels elles sont construites, des liquides qu'elles manipulent et même de leur orientation dans l'espace. Cependant, toutes ces classifications ont une portée limitée et ont tendance à se chevaucher sensiblement. Un système de classification plus basique définit d'abord le principe par lequel l'énergie est ajoutée au fluide, identifie ensuite les moyens par lesquels ce principe est mis en œuvre et délimite enfin les géométries spécifiques couramment utilisées [14].

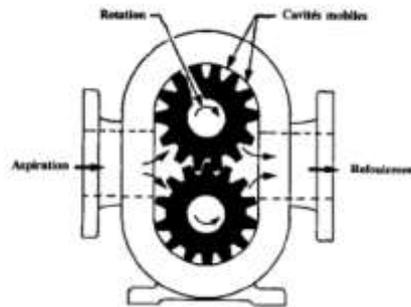
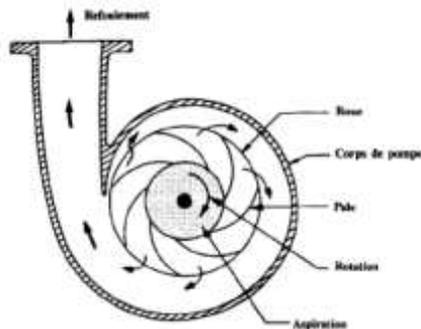


Figure.VI.2 : Pompe centrifuge à refoulement radial    Figure.VI. 3 : Pompe volumétrique à engrenage

#### IV.2.2 Définition de pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge est une machine tournante dans laquelle le débit et la pression sont générés dynamiquement. L'entrée n'est pas isolée de la sortie comme c'est le cas avec les pompes volumétriques, qu'elles soient de configuration alternative ou rotative. Au lieu de cela, une pompe centrifuge fournit de l'énergie utile au fluide ou "pompage" en grande partie grâce aux changements de vitesse qui se produisent lorsque ce fluide s'écoule à travers la roue et les passages fixes associés de la pompe ; c'est-à-dire qu'il s'agit d'une pompe "rotodynamique". Toutes les pompes à rotor sont rotodynamiques, y compris celles équipées de rotors à flux radial, à flux mixte et à flux axial : le terme « pompe centrifuge » tend à englober toutes les pompes rotodynamiques [14].

#### IV.2.3 Conception des principaux composants [13] :

Une pompe centrifuge se compose de plusieurs composants dont les plus importants sont présentés ci-dessous : (voir Fig. IV. 1 )

##### ➤ Corps de la pompe

Le joint du corps principal de la pompe est dans l'axe de l'arbre, ce qui permet d'effectuer la maintenance de l'élément rotatif en déposant la moitié supérieure du corps. Les orifices d'aspiration et de refoulement se trouvent dans la moitié inférieure du corps et ne sont donc pas perturbés.

##### ➤ Roue

La roue est complètement fermée et peut être équipée en option de bagues d'usure.

##### ➤ Arbre

L'arbre rigide, de grand diamètre, monté sur des paliers, comporte une extrémité d'entraînement clavetée.

##### ➤ Paliers de la pompe et lubrification

Des roulements à billes sont installés en standard et ils peuvent être lubrifiés par de l'huile ou de la graisse, et protégés par des bagues d'étanchéité trapézoïdales.

La lubrification à l'huile est possible seulement lorsque l'arbre de la pompe est horizontal.

Des protecteurs de paliers ou des joints labyrinthes stationnaires peuvent être installés en tant qu'option dans les couvercles de paliers pour les protéger.

➤ **Corps de palier**

Grâce à deux graisseurs, on peut compléter le plein de graisse des paliers entre les grandes révisions. Dans le cas des paliers lubrifiés à l'huile, un houilleur à niveau constant est installé.

➤ **Joints d'étanchéité de l'arbre**

Joints d'étanchéité mécaniques, fixés sur l'arbre de la pompe, assurant l'isolation étanche du liquide pompé par rapport à l'environnement. Des garnitures presse étoupe peuvent être installées en option.

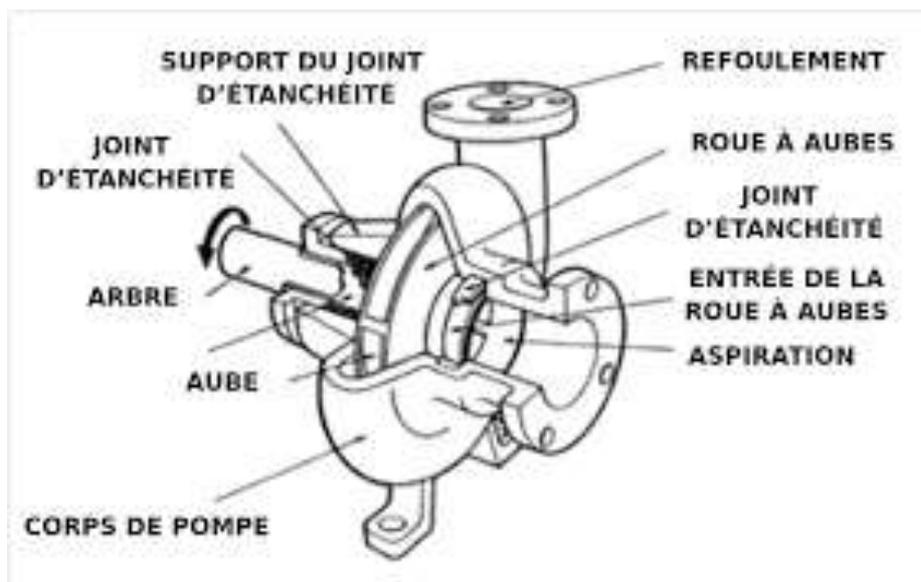


Figure.VI. 4 : Composants d'une pompe centrifuge

**IV.3 Principe de fonctionnement :**

Le fluide pompé entre en continu par la buse d'aspiration de la pompe au centre de la turbine. De là, il est accéléré dans une direction radiale jusqu'aux extrémités de la turbine, où il est refoulé dans le corps. Le flux de liquide est accéléré par la poussée que les pales du rotor, grâce à leur courbure, transmettent au flux lui-même. De cette façon, le liquide acquiert de l'énergie, principalement sous la forme d'une augmentation de sa vitesse moyenne (énergie cinétique).

A l'intérieur du corps, le liquide est ralenti grâce à la section progressivement croissante dans le sens du mouvement.

Une telle augmentation de section est généralement obtenue en concevant la partie périphérique du corps (aérateur de tube) en forme de spirale avec une section transversale (généralement circulaire, trapézoïdale ou rectangulaire) qui varie de zéro jusqu'à la valeur de section du refoulement.

De cette façon, l'énergie cinétique du fluide est convertie en énergie de pression.

Dans le corps, à l'opposé de l'aspiration, se trouve le couvercle. Dans la section centrale du couvercle, au passage d'arbre, se trouve l'étanchéité d'arbre (garniture mécanique).

L'étanchéité entre la zone haute pression (à l'intérieur du corps) et la zone basse pression (buse d'aspiration) est obtenue grâce à un jeu très réduit créé entre la turbine et le corps.

La turbine et l'arbre sont en porte-à-faux par deux roulements situés à l'extérieur du corps dans un support spécial. [5]

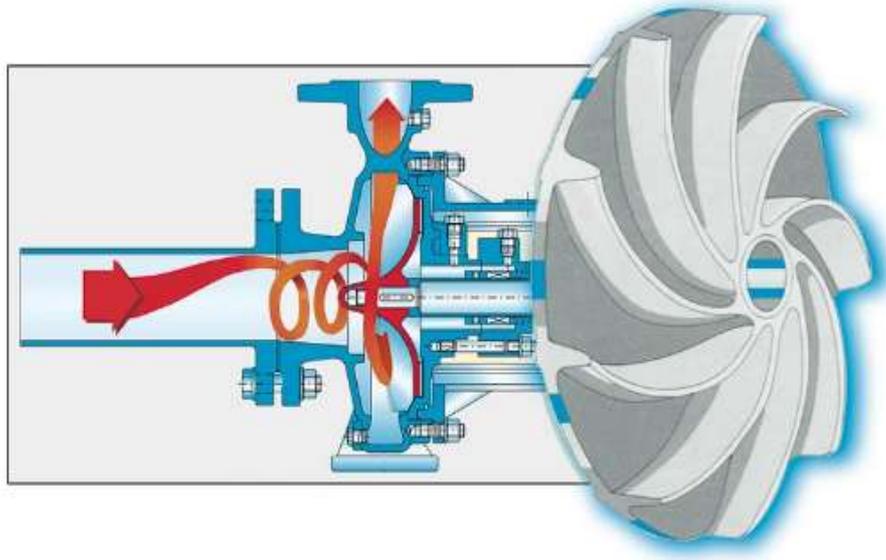


Figure.VI.5 : principe de fonctionnement

#### IV.4 Critères de choix d'une pompe centrifuge [18] :

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation.

Les données nécessaires pour un dimensionnement correctes sont :

- Le débit désiré
- La hauteur géométrique à l'aspiration
- La hauteur géométrique au refoulement
- Le diamètre de la conduite

#### IV.5 : Avantages et inconvénients des pompes centrifuges [20] :

Pour les avantages, ce sont des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses.

- à caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques
- leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques »
- elles sont adaptées à une très large gamme de liquides
- leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux
- en cas de colmatage partiel ou d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater. La pompe se comporte alors comme un agitateur...

Du côté des inconvénients :

- impossibilité de pomper des liquides trop visqueux
- production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bar)
- elles ne sont pas auto-amorçantes
- à l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir....)

#### IV.6 : Analyse fonctionnelle de pompe 300/LNN 750 :

La pompe centrifuge 300/LNN 750 est une machine très importante dans le système de pompage, un arrêt imprévu de cette pompe provoquera l'arrêt de tout le système. La figure (IV.6) montre une photo réelle de la pompe centrifuge 300/LNN 750, tandis que le dessin d'ensemble montrant les principaux constituants de la pompe centrifuge 300/LNN 750 est donné par la (Fig. IV.7).



**Figure.VI. 6** : Photo réelle de la pompe centrifuge 300/LNN 750

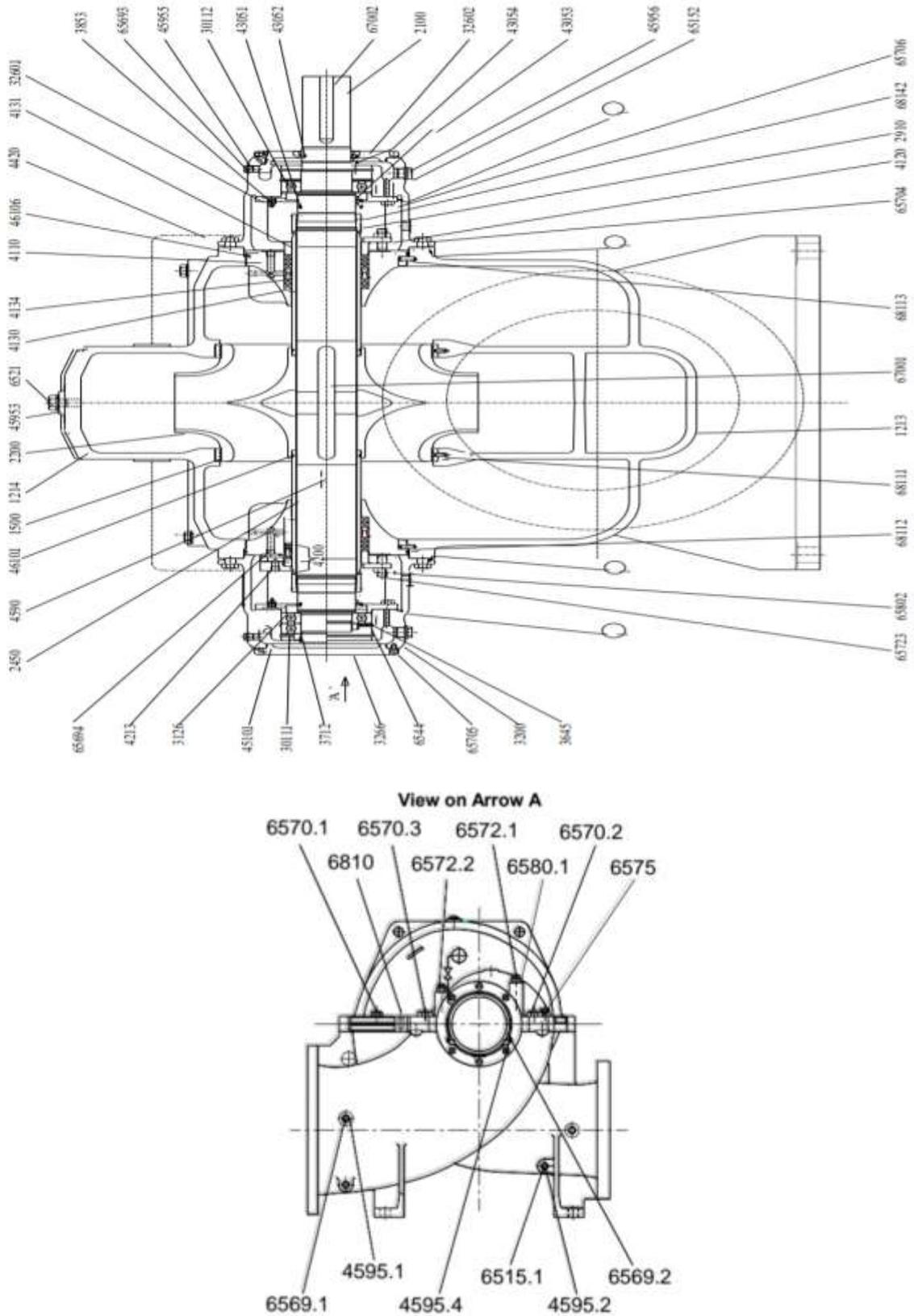


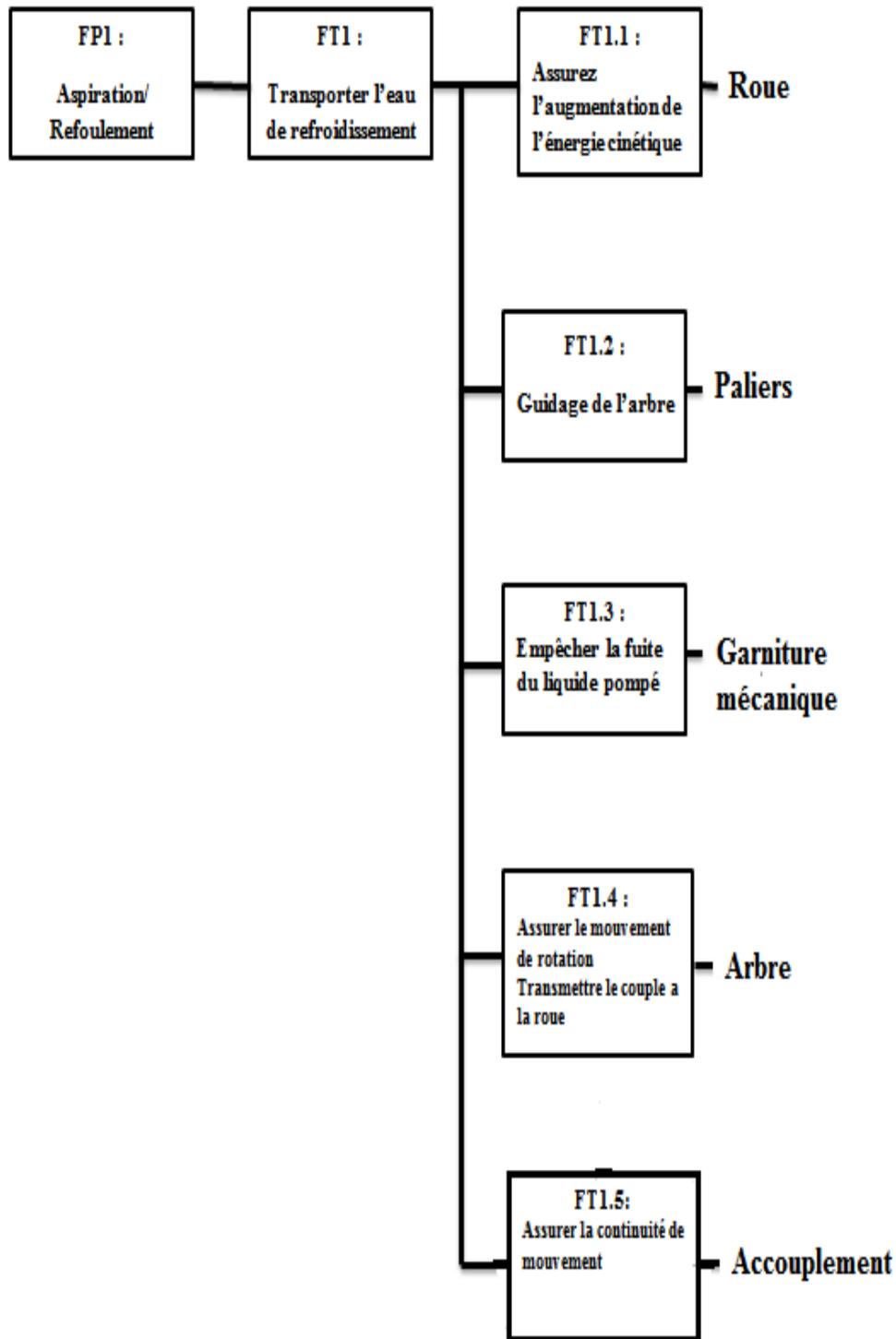
Figure.VI. 7 : Les principaux constituants de la pompe centrifuge

Numéro de Référence	Description	Numéro de référence	Description	Numéro de référence	Description
1213	Demi-corps inférieur	4130	Garniture de presse-étoupe	6515.1	Bouchon de vidange
1214	Demi-corps supérieur	4131	Bague fouloir	6515.2	Bouchon de vidange
1500	Bague d'usure	4134	Lanterne d'arrosage	6521	Bouchon de purge d'air
2100	Arbre	4213	Couvercle de la garniture méca	6544	Circlips
2200	Roue	4305.1	Bague d'étanchéité arbre	6569.1	Bouchon
2450	Chemise d'arbre	4305.2	Bague d'étanchéité arbre	6569.2	Bouchon
2910	Ecrou d'arbre	4305.3	Bague d'étanchéité arbre	6569.3	Bouchon
3011.1	Roulement à billes	4305.4	Bague d'étanchéité arbre	6569.4	Bouchon
3011.2	Roulement à billes	4420	Tuyauterie du liquide de barrage	6570.1	Vis
3126	Rondelle de réglage	4510.1	Joint circulaire	6570.2	Vis
3200	Corps de palier	4590	Joint plat	6570.3	Vis
3260.1	Couvercle de palier	4595.1	Joint circulaire	6570.4	Vis
3260.2	Couvercle de palier	4595.2	Joint circulaire	6570.5	Vis
3266	Couvercle de palier	4595.3	Joint circulaire	6570.6	Vis

3645	Rondelle-entretoise	4595.4	Joint circulaire	6572.1	Goujon fileté
3712	Ecrou de roulement	4595.5	Joint circulaire	6572.2	Goujon fileté
3853	Graisser	4595.6	Joint circulaire	6572.3	Goujon fileté
4110	Boitier de presse-étoupe	4610.1	Joint torique	6575	Vis d'extraction
4120	Fouloir	4610.6	Joint torique	6580.1	Ecrou
6580.2	Ecrou	6700.2	Clavette	6811.1	Goupille cylindrique
6700.1	Clavette	6810	Goupille	6811.2	Goupille cylindrique
6811.3	Goupille cylindrique	6814.2	Vis d'arrêt		

**Tableau.VI. 1** : Déchiffre de schéma technique de la pompe centrifuge 300/LNN750 [13]

La figure (IV.6) montre le schéma fonctionnel de la pompe centrifuge. Ce schéma permet de bien comprendre les fonctions principales et techniques assurées ainsi que les organes principaux qui les composent.



**Figure.VI.8 :** Analyse fonctionnelle de la pompe centrifuge 300/LNN750

**IV-7 : Cause à effet de pompe centrifuge 300/LNN 750 : [13]**

Ce tableau représente un résumé de tous les symptômes qui peuvent affecter notre pompe ainsi que les causes et les remèdes possibles. Ces données représentent la base pour la construction l'arbre de défaillances que nous aborderons plus loin dans ce chapitre.

SYMPTOME DU DEFAUT											
Surchauffe et grippage de la pompe											
↓	Faible durée de vie des roulements										
↓	La pompe vibre ou est bruyante										
↓	Faible durée de vie de la garniture mécanique										
↓	Fuite excessive de la garniture mécanique										
↓	Puissance absorbée par la pompe excessive										
↓	Désamorçage de la pompe après démarrage										
↓	Pression de refoulement insuffisante										
↓	Débit insuffisant										
↓	Débit nul										
										CAUSES PROBABLES	REMEDES POSSIBLES
<b>A. Anomalies système</b>											
•										• Pompe non amorcée.	
	•									La pompe ou la tuyauterie d'aspiration n'est pas remplie complètement de liquide.	Vérifier le remplissage. Aérer et/ou amorcer.
		•								Hauteur d'aspiration trop importante ou niveau trop bas.	Vérifier $NPSH_A > NPSH_R$ , submersion correcte, perte au niveau des filtres/raccords.
•	•									Marge insuffisante entre la pression d'aspiration et la pression de vapeur du liquide.	
						•	•			Quantité excessive d'air ou de gaz dans le liquide.	Vérifier et purger les tuyauteries et le circuit.
							•	•		Poche d'air ou de vapeur dans la ligne d'aspiration.	Vérifier la conception de la ligne d'aspiration pour les poches de vapeur.
								•		Fuite d'air dans la ligne d'aspiration.	Vérifier que la tuyauterie d'aspiration est étanche à l'air.
								•		Fuite d'air dans la pompe via la garniture mécanique, les joints de chemise, le joint de corps ou les obturateurs de tuyau.	Vérifier et remplacer les pièces défectueuses. CONSULTER FLOWSERVE.
	•									Soupape à pédale trop petite.	Envisager le remplacement de la soupape à pédale.
	•									Soupape à pédale partiellement bouchée.	Nettoyer la soupape à pédale.
		•								Entrée de la tuyauterie d'aspiration insuffisamment submergée.	Vérifier la conception du circuit.
								•		Vitesse trop faible.	CONSULTER FLOWSERVE.
										Vitesse trop élevée.	CONSULTER FLOWSERVE.
									•	Hauteur totale du système supérieure à la hauteur différentielle générée par la pompe.	Vérifier les pertes du système. Prendre des mesures correctives ou CONSULTER FLOWSERVE.
									•	Hauteur totale du système inférieure à la hauteur nominale de la pompe.	
									•	Densité du liquide différente de la densité nominale.	
									•	Viscosité du liquide différente de la viscosité pour laquelle la pompe a été conçue.	Vérifier et CONSULTER FLOWSERVE.
•	•									Fonctionnement à très faible débit.	Mesurer la valeur et vérifier le minimum autorisé. Prendre des mesures correctives ou CONSULTER FLOWSERVE.
	•	•								Fonctionnement à débit élevé.	Mesurer la valeur et vérifier le maximum autorisé. Prendre des mesures correctives ou CONSULTER FLOWSERVE.
<b>B. Anomalies mécaniques</b>											
•	•	•	•	•	•					Désalignement dû aux contraintes des tuyauteries.	Vérifier les connexions de bride et supprimer les contraintes en utilisant des accouplements élastiques ou une méthode autorisée.
									•	Fondation mal conçue.	Vérifier la plaque de base : serrer, ajuster, soeller la base comme requis.
		•	•	•	•					Arbre courbé.	Vérifier que les faux ronds d'arbre sont dans les limites acceptables. CONSULTER FLOWSERVE.
•	•	•								Pièce rotative frottant sur une pièce fixe à l'intérieur.	Vérifier et CONSULTER FLOWSERVE, si nécessaire.
•	•	•	•							Roulements usés.	Remplacer les roulements.

Tableau.VI. 2 : Cause à effet de pompe centrifuge 300/LNN 750

SYMPTOME DU DEFAULT

Surchauffe et grippage de la pompe												
↓	Faible durée de vie des roulements											
↓	La pompe vibre ou est bruyante											
↓	Faible durée de vie de la garniture mécanique											
↓	Fuite excessive de la garniture mécanique											
↓	Puissance absorbée par la pompe excessive											
↓	Désamorçage de la pompe après démarrage											
↓	Pression de refoulement insuffisante											
↓	Débit insuffisant											
↓	Débit nul											
										CAUSES PROBABLES	REMEDES POSSIBLES	
										• • •	Surfaces anneaux d'usure usés.	Remplacer les anneaux d'usure usés ou rectifier les surfaces.
										• •	Roue endommagée ou érodée.	Remplacer ou CONSULTER FLOWSERVE pour sélectionner un meilleur matériau.
										•	Fuite sous la chemise à cause d'une rupture de joint.	Remplacer le joint et vérifier l'endommagement.
										• •	chemise d'arbre usé ou rayé ou axe excentré.	Vérifier et remplacer les pièces défectueuses.
										• • •	Garniture mécanique mal installée.	Vérifier l'alignement des faces ou des pièces endommagées ainsi que la méthode de montage utilisée.
										• • •	Type incorrect de garniture mécanique pour les conditions de fonctionnement.	CONSULTER FLOWSERVE.
										• • • • •	L'arbre tourne en étant excentré à cause de l'usure des roulements ou du désalignement.	Vérifier le désalignement et corriger si nécessaire. Si l'alignement est correct, vérifier que les roulements ne sont pas trop usés.
										• • • • •	Roue déséquilibrée entraînant des vibrations.	Vérifier et CONSULTER FLOWSERVE.
										• • •	Particules abrasives solides dans le liquide pompé.	
										• •	Désalignement interne des pièces, empêchant la bague d'étanchéité de reposer correctement sur son siège.	Vérifier et CONSULTER FLOWSERVE.
										• •	La garniture mécanique a fonctionné à sec.	Vérifier l'état de la garniture mécanique, rechercher la cause du fonctionnement à sec, et réparer.
										• •	Désalignement interne à cause de réparations incorrectes ayant provoqué le frottement de la roue.	Vérifier la méthode de montage, les endommagements possibles ou l'état de propreté pendant le montage. Prendre des mesures correctives ou CONSULTER FLOWSERVE si nécessaire.
										• • •	Poussée excessive provoquée par une rupture mécanique dans la pompe.	Vérifier l'état d'usure de la roue, ses jeux et les passages de liquide.
										• •	Quantité excessive de graisse dans les roulements à billes.	Vérifier la méthode utilisée pour remplir de graisse les roulements.
										• •	Absence de lubrification des roulements.	Vérifier le nombre d'heures de fonctionnement depuis le dernier remplacement du lubrifiant, le programme de graissage et ses bases.
										• •	Mauvaise installation des roulements (endommagement au cours du montage, assemblage incorrect, type incorrect de roulement, etc.).	Vérifier la méthode de montage, les endommagements possibles ou l'état de propreté pendant le montage, ainsi que le type de roulement utilisé. Prendre des mesures correctives ou CONSULTER FLOWSERVE si nécessaire.
										• •	Roulements endommagés à cause de la contamination.	Vérifier la source de contamination et remplacer les roulements endommagés.
C. Problèmes électriques sur le moteur												
										• • •	Mauvais sens de rotation.	Inverser 2 phases dans le bornier du moteur.
										• •	Le moteur ne fonctionne que sur 2 phases.	Vérifier l'alimentation et les fusibles.
										• •	Le moteur tourne trop lentement.	Vérifier les connexions dans le bornier et vérifier la tension.

Tableau.VI. 3 : Suite tableau 2

IV.8 Arbres de défaillances :

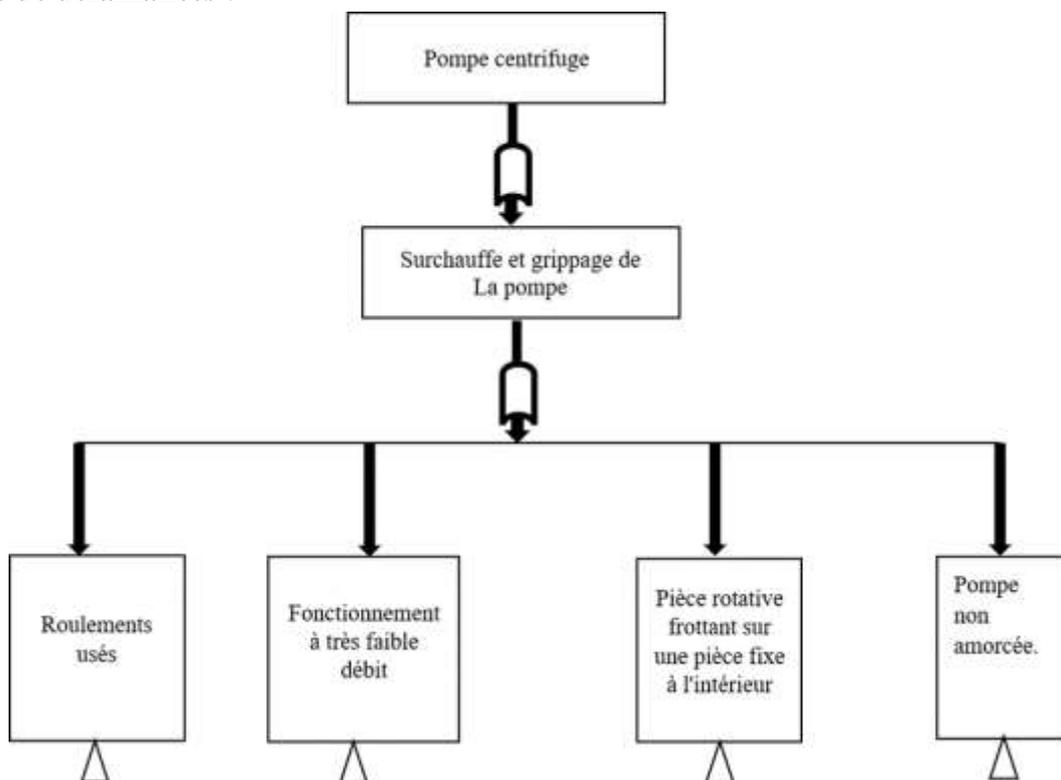


Figure.VI. 9 : Arbre de défaillance du mode « Surchauffe et grippage de la pompe »

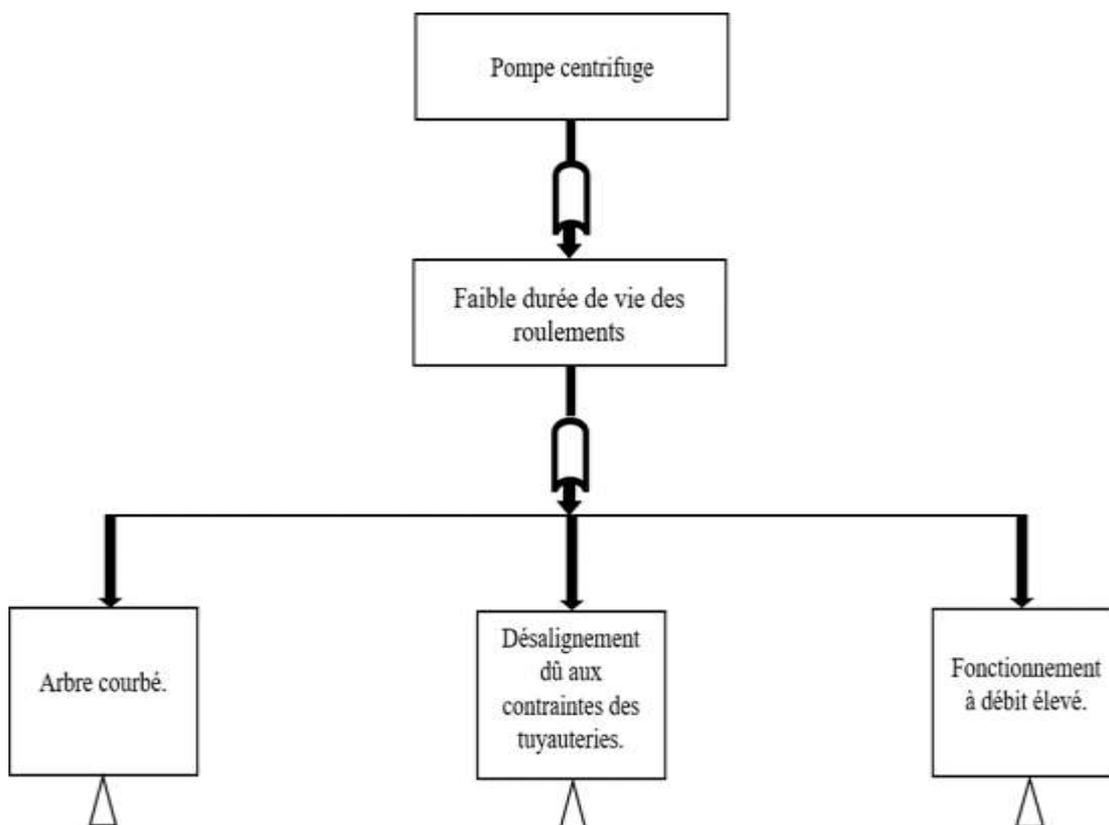


Figure.VI. 10 : Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie des roulements »

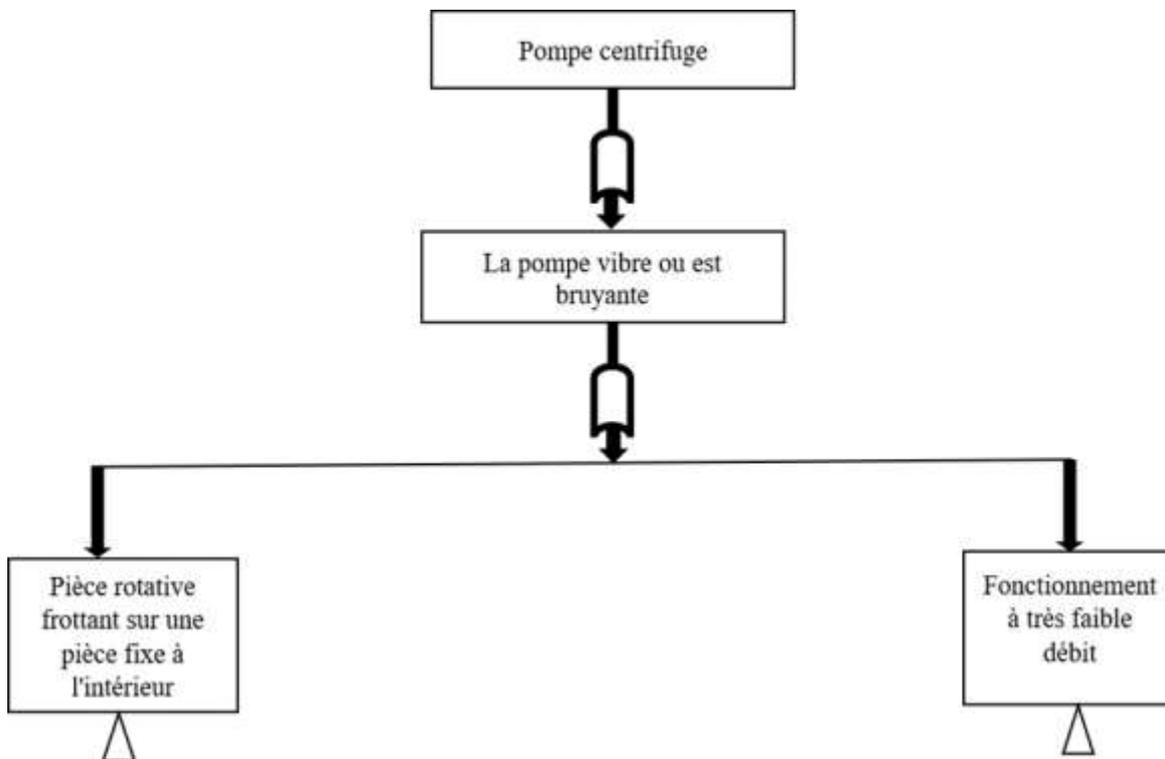


Figure.VI. 11 : Arbre de défaillance du mode « La pompe vibre ou est bruyante »

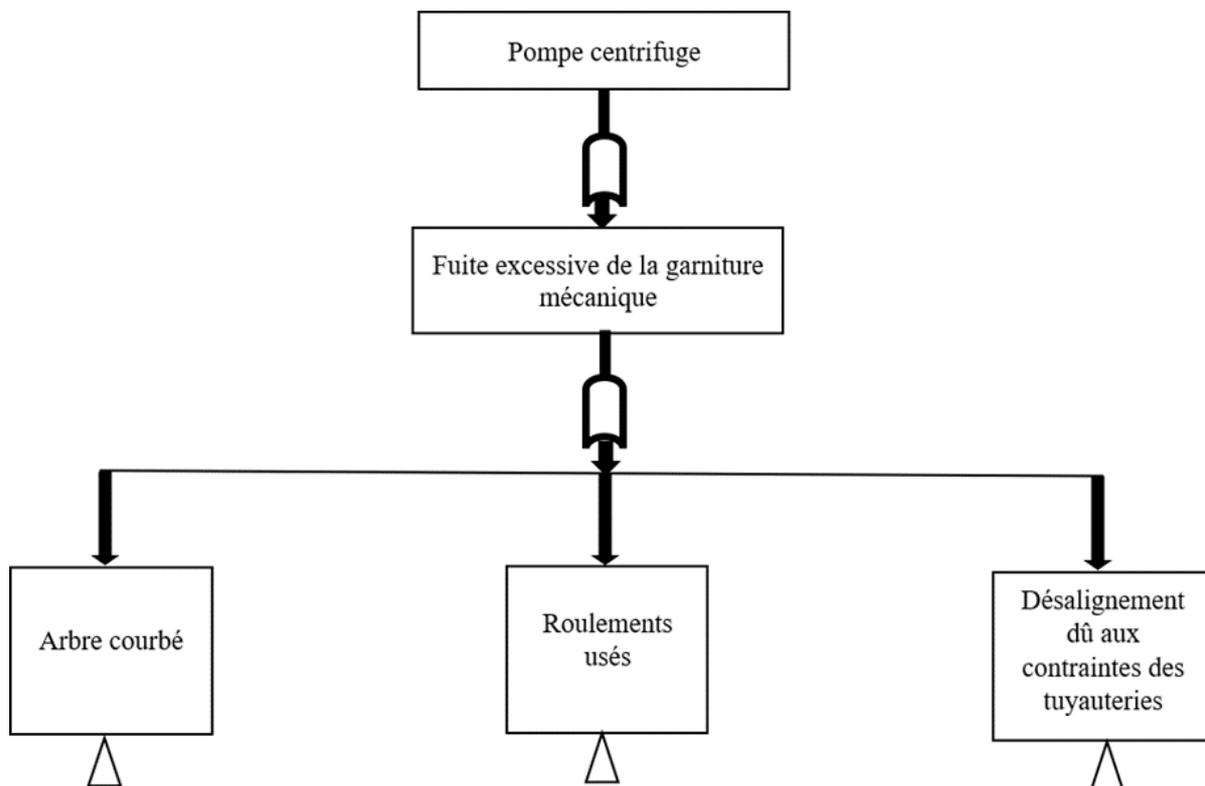


Figure.VI. 12 : Arbre de défaillance du mode « Fuite excessive de la garniture mécanique »

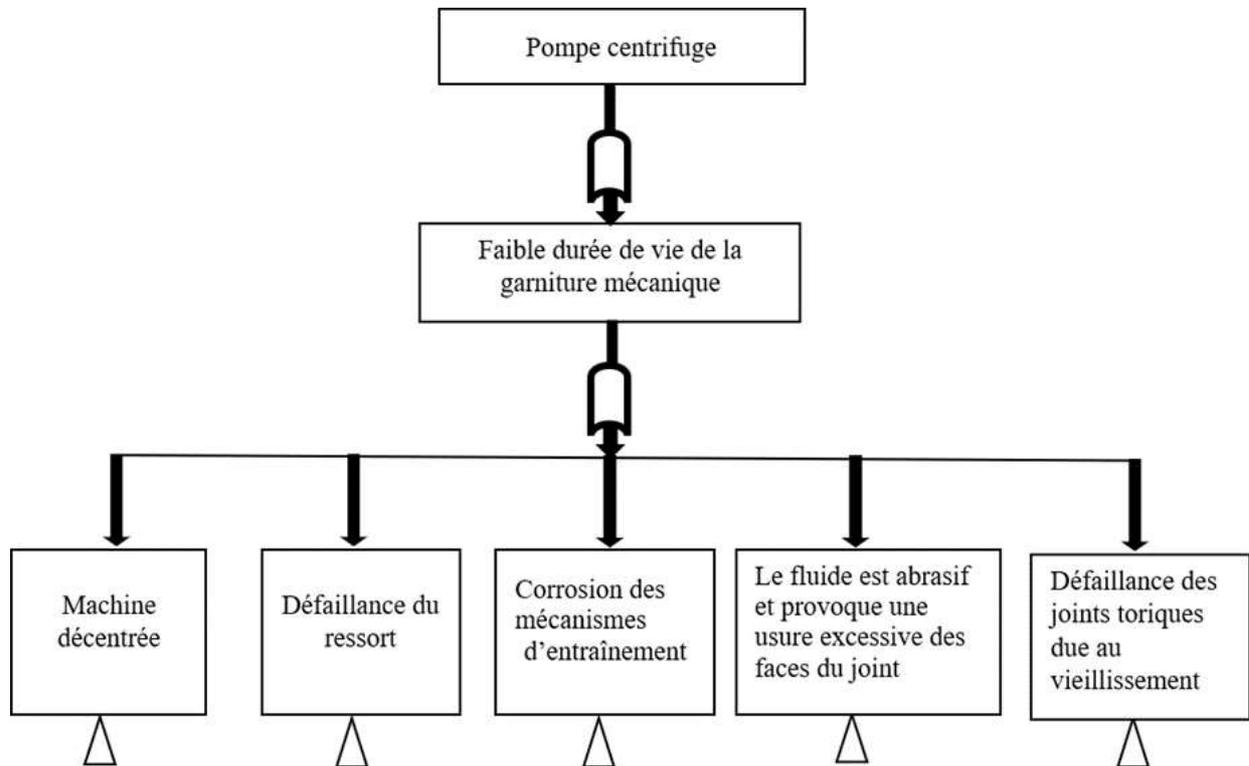


Figure.VI. 13 : Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie de la garniture mécanique »

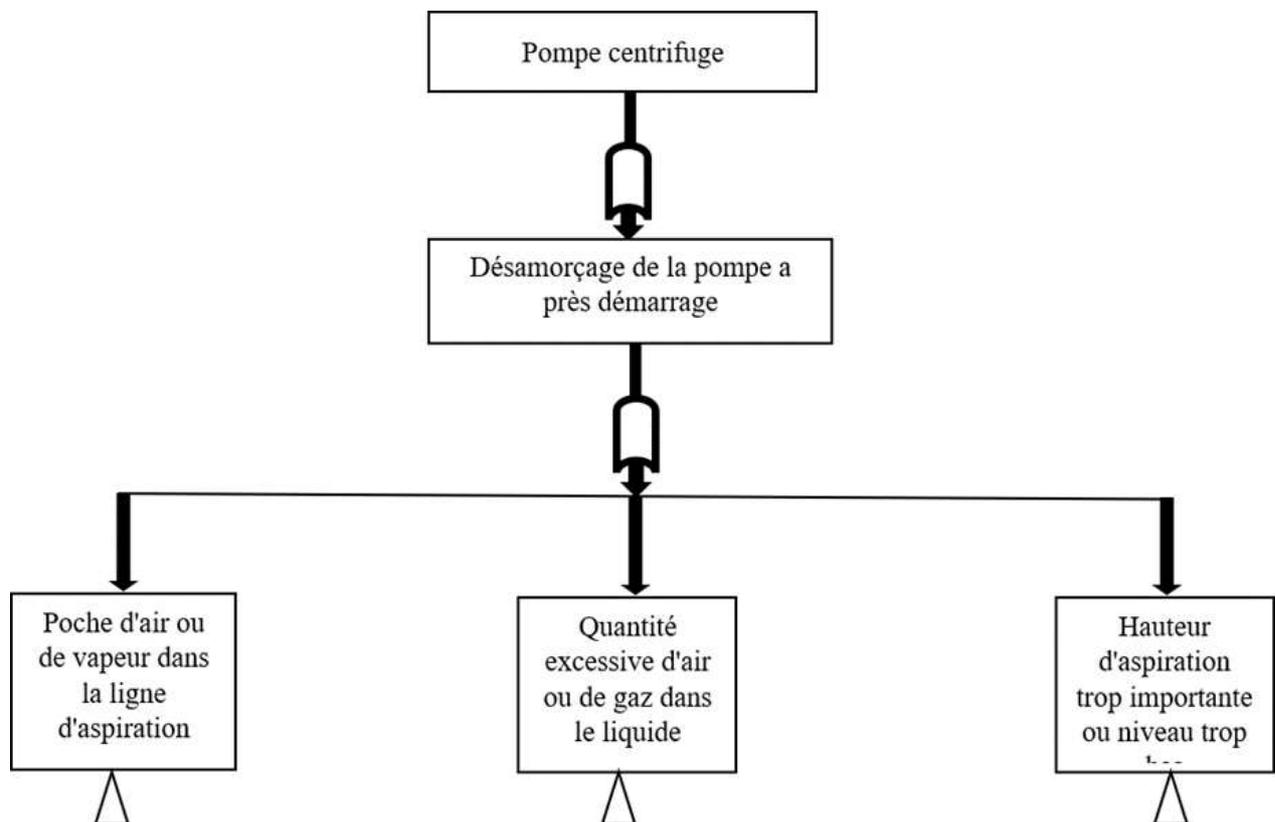


Figure.VI. 14 : Arbre de défaillance du mode « Désamorçage de la pompe a près démarrage »

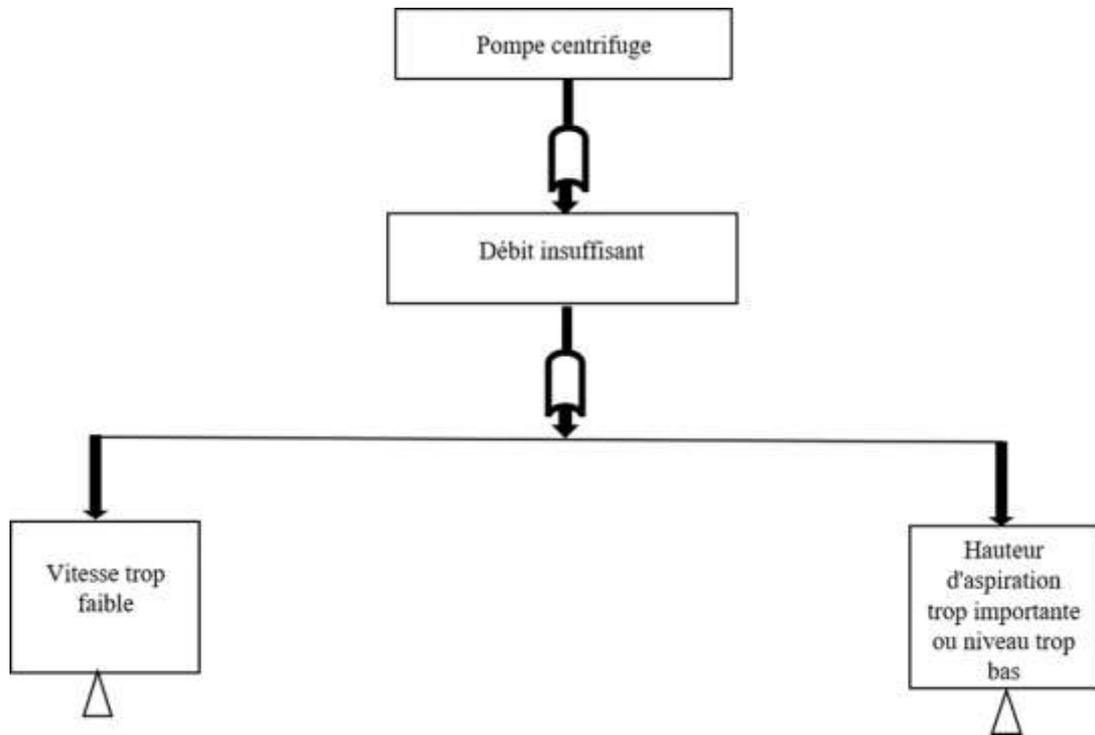


Figure.VI. 15 : Arbre de défaillance du mode « Débit insuffisant »

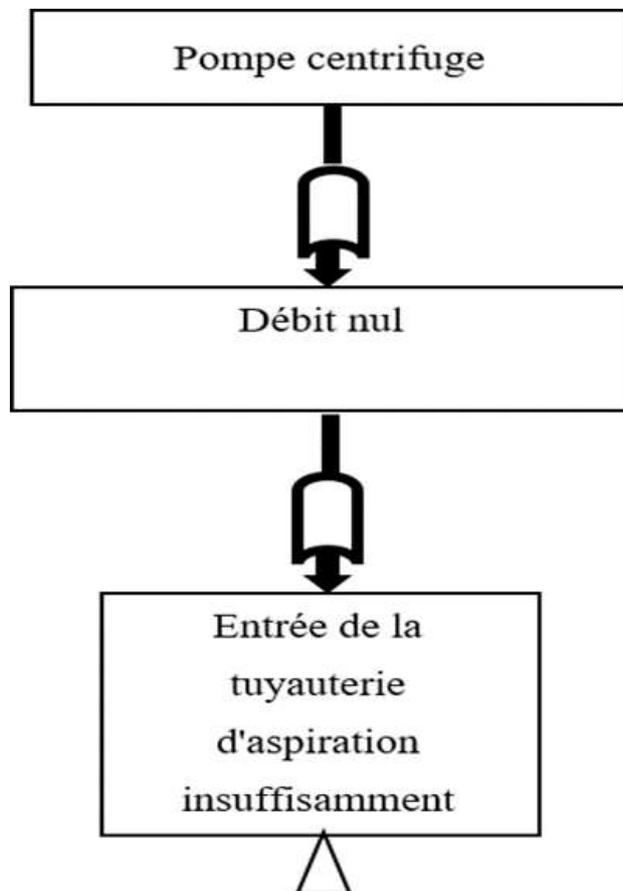


Figure.VI. 16 : Arbre de défaillance du mode « Débit nul »

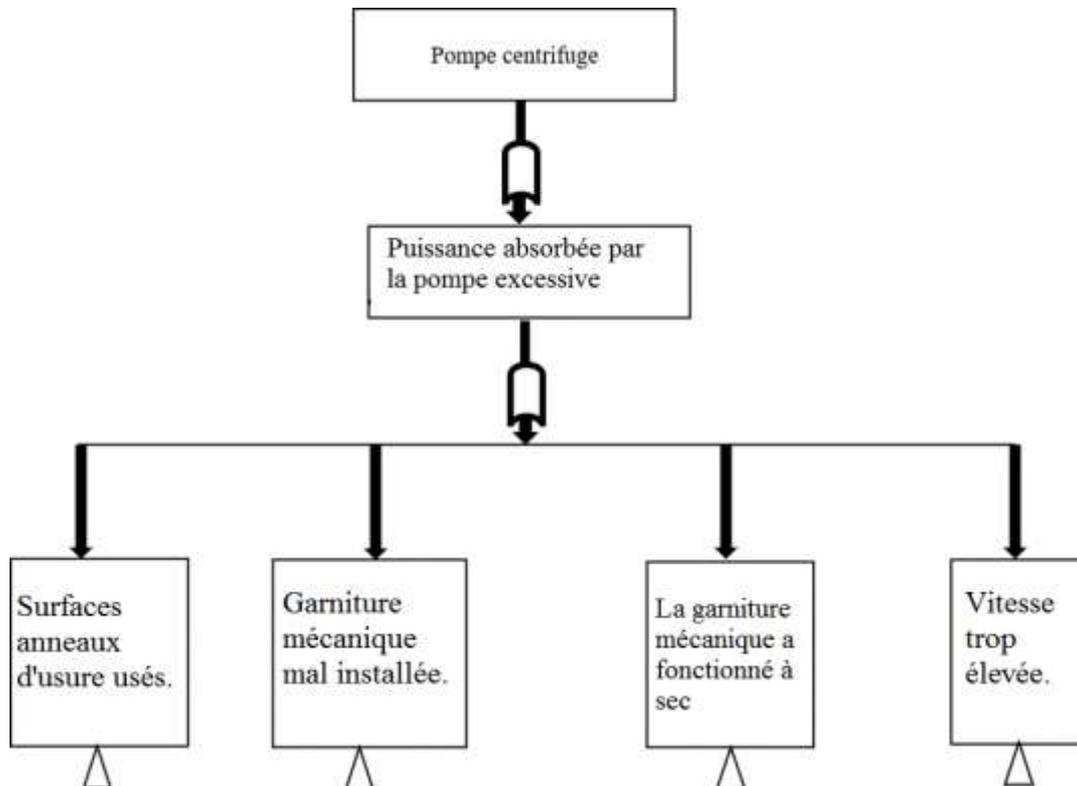


Figure.VI. 17 : Arbre de défaillance du mode «Puissance absorbé par la pompe excessive»

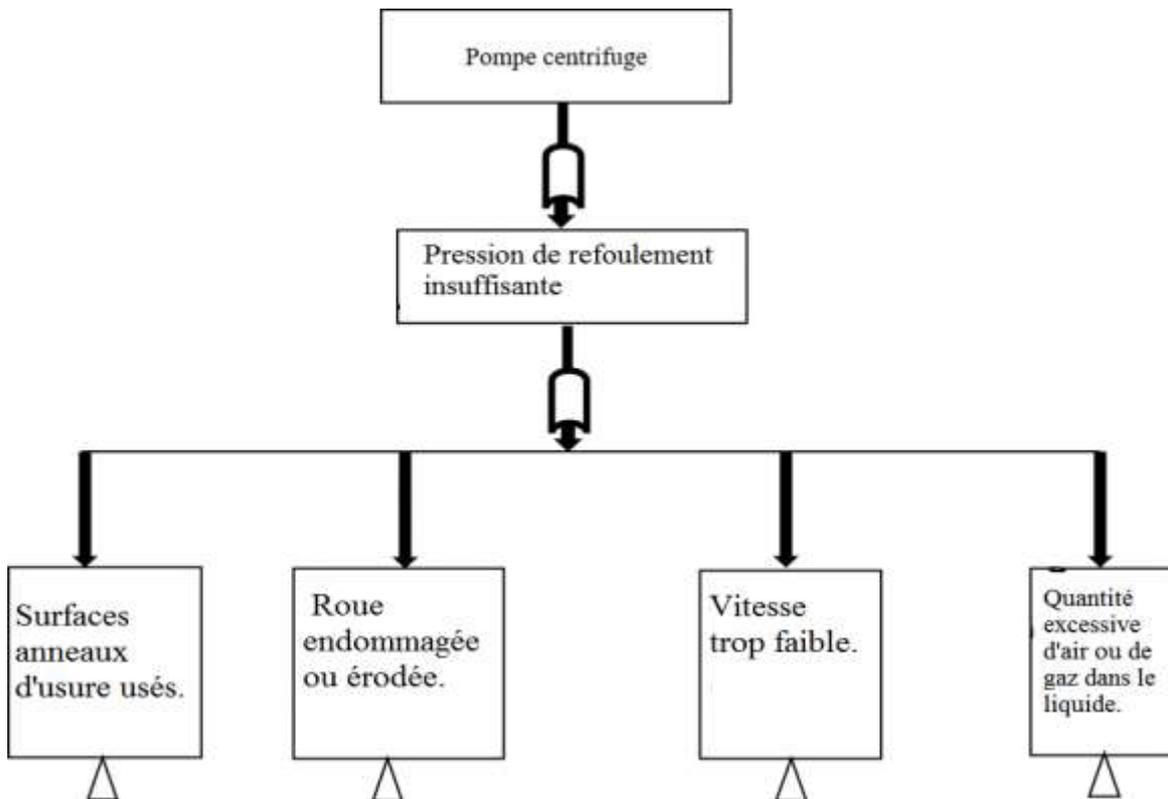


Figure.VI. 18 : Arbre de défaillance du mode « Pression de refoulement insuffisante »

**IV-9 : Exemple de l'AMDEC :**

L'AMDEC est une analyse implique une réflexion menant au constat d'avarie(s) dont chaque composant peut être le siège. Ensuite, chacune de ces dérives est évaluée par des critères dont le produit exprime la criticité. Chaque réflexion, allant du composant à l'indice de criticité de la défaillance dont il peut être la cause, progresse par étapes : fonctions, modes, causes, effets et détections.

L'AMDEC nécessite un grand nombre de données, chose que malheureusement n'était pas disponible au sein de l'entreprise d'accueil. Donc par conviction de notre part de l'intérêt de cette analyse et afin de convaincre les responsables de l'entreprise à l'adopter comme outils d'analyse, nous proposons dans ce qui suit un exemple d'une AMDEC faite sur la pompe centrifuge.

L'ensemble de l'analyse est résumé dans le tableau ci-après : (Tableau IV 1) [13]

		Étude : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité				Responsable :				
		Secteur : Pompe centrifuge				Unité maintenance : Atelier Mécanique				
Matériels		Caractéristique de défaillance				Criticité				Résultat de défaillance
Sous système	Élément	Fonction	Effet de défaillance	Cause de défaillance	Mode de défaillance	G	F	D	C	Actions
<b>300/LNN 750</b>	Base de pompe	Fixation de la pompe	Vibrations	Base mal fixée	Bruit de fonctionnement	1	2	1	2	
	Roue	Donner une vitesse au liquide		*Oùies de la roue usées *Oùies bouchées *Rotation dans le mauvais sens	*Diminution de débit *Arrêt de la pompe	4	3	3	3	Maintenance corrective et Remise en cause complète de la conception « Changement de la roue »
	Clapet anti retour	Il permet le passage de l'huile dans un seul sens	La pompe tourne mais aucune huile n'est évacuée	*Clapet monté inverse *clapet coincé	Arrêt manuelle de la pompe	3	2	1	6	Changement du clapet anti-retour
	Vanne	Distribuer ou interrompre le passage du fluide	Blocage	Pas de commande	Arrêt d'alimentation d'huile	1	1	1	1	Maintenanc préventive systématique
	Citerne de stockage	Permet la protection d'huile et le refroidissement	Augmentati on de la T des parois	*Mauvaise aération *mauvaise isolation	Présence de vapeur	1	1	1	1	

Boîte à garniture	Protéger la garniture de la pompe	*Fuite excessive *Surchauffement	*presse garniture mal-fixé ou trop serrée *extrémités de garniture non chevauchées *Usure de la garniture	Usure de garniture	4	2	3	24	Maintenance préventive conditionnelle « Changement des Boîtes à garnitures »
Graisser à huile à niveau constant	Lubrifier les paliers	Suintement d'huile au niveau de fixations filetées	Variation de pression à l'intérieur	Cassure d'arbre	3	1	1	3	
Orifice	Diriger le liquide vers l'entrée de la roue	*Echauffement de l'orifice *Bruit	*Evaporation du liquide *Variation de pression *Présence des corps étrangers	*Implosion de l'orifice *Erosion	2	1	1	2	
Coude	Réduit les parties de charge	Endommagement de la turbine	Défaut au niveau du montage du coude (air qui entre)	Désamorçage de la pompe	3	1	2	6	
Crépine-clapet anti-retour	Éviter le passage d'éléments solide	*Détérioration *Crépine bouchée	Présence d'éléments solides dans le fluide	*Mauvaise filtration du liquide *Usure pompe	4	2	2	16	Maintenance préventive systématique
Tube	Conduire l'aspiration d'huile vers l'orifice d'aspiration	*Bruits *Vibration	*Formation de vapeur à l'intérieur de la pompe *Poche d'air dans les tubes	Cavitation	4	1	2	8	
Accouplement	Permet l'entraînement en rotation un élément récepteur à partie d'un élément moteur	Fragmentation	Durée de vie expirée	Arrêt de la pompe	4	2	3	24	Maintenance préventive conditionnelle

Ecrou	Blocage de roue interrompre le passage du fluide	Desserrage de la roue	Le mouvement de rotation de la roue	*Vibration de la roue *Bruit de fonctionnement	4	1	1	4	
Manomètre	Informé sur le niveau de la pression	Dépassement d'échelle			1	1	1	1	
Bague d'étanchéité	Ne laisse pas passer l'huile	Fuite d'huile	Consommation des bagues d'étanchéité	Débit insuffisante	2	3	4	24	Maintenance préventive systématique « Changement de la bague d'étanchéité »
Jauge du niveau d'huile	Mesure le niveau d'huile ainsi que sa T en continu (en statique et en dynamique)	Fuite d'huile	Dépassement du niveau max d'huile	Arrêt de la pompe	1	2	1	2	
Paliers	Supporter et guider en rotation l'arbre de transmission	Surchauffement des roulements	*Déformation de l'arbre *coincement des éléments rotatifs *purification insuffisante des paliers *Mauvais type d'huile	*Usure d'arbre de pompe *Bruit de fonctionnement	3	2	2	12	Maintenance préventive systématique « Changement des roulements (arrière et avant) »

**Tableau.VI. 4 :** Grille AMDEC du pompe 300/LNN 750

**IV.9.1 : Synthèse ou évaluation de la criticité :**

A partir du (Tableau IV.5) Grille de l'AMDEC de la pompe 300/LNN750, on a hiérarchisé les défaillances selon le seuil de criticité, les éléments dont la criticité atteint le seuil qui demande des actions correctives, ainsi ceux qui ont la gravité et la fréquence entre 1 et 3 doivent entraîner une action corrective de conception, même si la criticité n'atteint pas le seuil fixé.

Niveau de criticité	Eléments	Criticité	Action corrective
1<C<10	Base de pompe	2	Aucune modification de conception
	Graisser à huile à niveau constant	3	
	Écrou	4	
	Jauge du niveau d'huile	2	
	Clapet anti-retour	6	
	Orifice	2	
	Tube	8	
	Coude	6	
10<C<20	Bague d'étanchéité	<b>16</b>	Maintenance préventive systématique
	Paliers	<b>12</b>	
	Crépine-clapet anti-retour	<b>16</b>	
20<C<30	Boîte à garniture	<b>24</b>	Maintenance préventive conditionnelle
	Accouplement	<b>24</b>	
c>30	Roue	<b>36</b>	Remise en cause complète de la conception

**Tableau.VI. 5 :** Evaluation de la criticité du la pompe centrifuge 300/LNN750

**IV.10 : Programme de maintenance de la pompe centrifuge 300/LNN750 :**

On recommande d'adopter un plan et un programme de maintenance correspondant à ces instructions d'utilisation et comprenant les points suivants:

- a) Tous les systèmes auxiliaires installés doivent être contrôlés, si nécessaire, pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement.
- b) Les garnitures de presse-étoupe doivent être réglées correctement pour que les fuites soient visibles et pour obtenir un alignement concentrique du suiveur de presse-étoupe afin d'éviter les températures excessives de la garniture ou du suiveur.
- c) Inspecter pour détecter les fuites des joints et des garnitures. On doit vérifier régulièrement le bon fonctionnement de la garniture d'étanchéité de l'arbre.

- d) Vérifier le niveau de lubrifiant du palier, et vérifier si le nombre d'heures de fonctionnement indique qu'il est temps de remplacer le lubrifiant.
- e) Vérifier que les conditions d'utilisation correspondent à l'intervalle de sécurité de fonctionnement pour la pompe.
- f) Mesurer les vibrations, le niveau sonore et la Température de surface des paliers pour confirmer le bon fonctionnement.
- g) Enlever la poussière et la saleté dans les zones autour des pièces à jeux réduits, des corps de paliers et des moteurs.
- h) Vérifier l'alignement de l'accouplement et le réaligner si nécessaire.

**IV.10.1 : Entretien courant :**

Ce calendrier n'est qu'une recommandation et est destiné à être modifié par l'expérience sur le site des conditions en vigueur.

<b>Durée</b>	<b>Pièce</b>
<b>Quotidien/ Hebdomadaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Vérifier le comportement de la pompe en fonctionnement. Vérifier que le bruit, les vibrations et les températures de paliers sont normales.</li> <li>b) Vérifier qu'il n'y a pas de fuite anormale de liquide ou de lubrifiant (joints d'étanchéité et garnitures statiques et dynamiques) et que les dispositifs d'étanchéité sont bien alimentés et fonctionnent normalement.</li> <li>c) Vérifier que les fuites au niveau du joint d'étanchéité de l'arbre sont dans les limites acceptables.</li> <li>d) Vérifier le niveau et l'état de l'huile lubrifiante. Sur les pompes équipées de graisseur, vérifier le nombre d'heures de fonctionnement depuis la dernière recharge en graisse ou depuis le dernier remplacement complet de la graisse.</li> <li>e) Vérifier le bon fonctionnement des dispositifs auxiliaires, par exemple le système de réchauffement/refroidissement</li> </ul>
<b>6 mois</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Vérifier que les boulons d'ancrage sont solidement fixés et ne sont pas corrodés.</li> <li>b) Consulter le cahier de fonctionnement de la pompe pour connaître le nombre d'heures de fonctionnement et pour déterminer si le lubrifiant des paliers doit être remplacé.</li> <li>c) On doit vérifier que l'alignement de l'accouplement est correct et que les éléments d'entraînement ne sont pas usés.</li> </ul>

<p><b>Annuellement</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Examiner les dents ou les disques d'accouplement pour déceler l'usage</li> <li>b) Inspecter les roulements et nettoyer les logements des roulements.</li> <li>c) Vérifier le calibrage des instruments</li> </ul>
<p><b>3 années</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Examiner l'état interne de la pompe et toute la canalisation auxiliaire pour contrôler la corrosion et l'érosion.</li> <li>b) Examiner les composants internes de pompe pour déceler l'usage.</li> </ul>
<p><b>Selon les heures de fonctionnement</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) <b>Nouveau graissage</b> - via les graisseurs, toutes les 2 000 heures de fonctionnement ou plus tôt selon la sévérité de l'application</li> <li>b) <b>Remplacement de la graisse</b> - toutes les 4000 heures de fonctionnement ou plus tôt selon la sévérité de l'application.</li> </ul>

**Tableau.VI. 6 :** Entretien courant des pompes 300/LNN750

Lorsque l'installation est neuve, la pompe doit être testée avec un compteur étalonné pour déterminer la valeur de la charge du système pour une capacité connue, fournissant des informations pour la surveillance des performances. Ces données s'avéreront inestimables lors de la détermination des programmes de maintenance et de la sélection des pièces de rechange pour une utilisation ultérieure.

## Conclusion

L'AMDEC et les arbres de défaillance sont deux outils de réflexion collective permettant l'amélioration de la sûreté de fonctionnement. L'un inductif et l'autre déductif, qui sont parfaitement complémentaires. Si l'AMDEC permet, dès la conception ainsi que durant l'exploitation d'un système, de mettre en évidence des défauts potentiels et d'en évaluer la criticité, les AdD montrent comment tel ou tel événement indésirable trouve son origine et quelles sont les combinaisons d'autres événements qui produisent cet effet. Des pannes sont minimisés [21].

Le repérage des points potentiellement fragiles du point de vue fiabilité et la mise en évidence de défaillances probables et évaluées en criticité conduisent à apporter remèdes et corrections avant l'apparition d'une anomalie. Ainsi, les risques d'accident et des pannes sont minimisés.

De même, dans le cadre d'une mise en place de maintenance préventive systématique, une réflexion AMDEC - AdD révèle les points nécessitant une telle forme de maintenance, la fréquence des interventions, les organes concernés ainsi que les causes et événements générateurs.

Les AMDEC et les AdD sont donc des sources non négligeables de gains technico économiques à condition cependant qu'ils soient d'une fidélité à l'ensemble étudié et d'une précision irréprochables. Cela, seule une analyse fonctionnelle très détaillée effectuée en phase préparatoire peut le garantir.

### Conclusion générale

Suite à un stage pratique, au sein du Laminoir à chaud (LAC) du complexe de sidérurgie **SIDER EL-HADJAR** et dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons réalisé une étude de fiabilité faite essentiellement à partir d'un historique de pannes, d'une pompe centrifuge **300/LNN750**.

L'application du questionnaire de **LAVINA**, nous a permis de déceler certaines faiblesses au niveau de la politique de maintenance adoptée par les responsables du **LAC** pour lesquelles nous avons suggéré quelques propositions afin d'améliorer le rendement du service maintenance.

En partant de l'historique de pannes, de la pompe centrifuge désignée par **300/LNN750**, enregistré depuis sa mise en service, nous avons abordé une étude quantitative de l'historique par l'application, dans un premier temps, de la méthode ABC de Pareto. Cette dernière a été utilisée dans le but de trouver les actions prioritaires des interventions des agents de la maintenance que ce soit préventive ou curative.

Dans un deuxième temps, la quantification de l'historique par l'application du modèle de **Weibull**. Ce dernier reconnu par sa modélisation des trois phases de vie d'un équipement.

A partir de la valeur du facteur de forme  $\beta$  (paramètre de Weibull) trouvée, pour la pompe (se trouve au alentour de un), il a été tout à fait clair de déduire que cette dernière se situe dans la phase de vie de maturité (le taux de défaillance est sensiblement constant, cette période correspond à phase la plus fiable d'une installation et qui repose, le plus, sur la maintenance préventive).

L'étude de FMD est justement l'outil indispensable pour qu'une entreprise puisse réduire au mieux les pannes probables de ses équipements.

Pour atteindre ces fins, nous avons mené notre étude en **LAC**, pour identifier et analyser les défaillances probables des équipements de production les plus prioritaires. Avec la suggestion d'attribuer les types de maintenance afin que la ligne de production puisse augmenter le rendement et réduire les coûts de maintenance.

Cette période de maturité qui comporte la majorité de la vie du système, est caractérisée par une variation très faible du taux de défaillance, dont les pièces mécaniques (arbre, roue à aubes, garnitures...Etc.) sont soumises à des phénomènes aléatoires multiples qui peuvent agir en combinaison. Cette phase de vie est généralement modélisée par des lois de probabilité telle que la loi que nous avons employé celle de **Weibull**.

Etant donné que la remontée du taux de défaillance, avec l'âge, n'est pas toujours systématique, c'est pourquoi, les techniciens et les ingénieurs de la maintenance concentrent leurs efforts sur la maintenance systématique préventive conditionnelle afin de prévenir les défaillances de la fin de la phase maturité. A cet effet, nous avons réalisé une étude qualitative de la pompe centrifuge **300/LNN750** par le biais de deux techniques de prévention des défaillances qui sont l'arbre de défaillances et l'analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (**AMDEC**).

Ces méthodes précieuses nous ont aidés à identifier les modes de défaillances des principaux organes de pompes (arbre, garnitures, roue à aubes, bagues d'étanchéité et différents paliers...etc) tout en évaluant leur criticité sur la sureté de fonctionnement.

A l'issue des études quantitative et qualitative faites dans le cadre de notre travail de mémoire et afin d'augmenter le temps de bon fonctionnement et par conséquent réduire les temps d'arrêt, un planning de maintenance a été proposé, à la fin, comme partie complémentaire à ces analyses.

Comme conclusion finale, nous pouvons dire que pour augmenter la fiabilité qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance il faut concentrer l'ensemble des efforts afin de concrétiser une meilleure organisation de la maintenance. Pour cela des enjeux majeurs doivent être prisent en compte dans la totalité de la gestion de ce système.

**Annexe A :**

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,188}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

**Annexe A. Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov**

**Annexe B :**

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0,2	120	1 901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	92,625	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244
0,35	5,291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	33,234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	24,686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	17,024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,546	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	13,663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	12,638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	11,906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	10,522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,165
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,25	0,99314	0,75	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,667	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9316	0,168
1,5	0,9027	0,613	3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
1,55	0,8994	0,593	3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9335	0,163
1,6	0,8966	0,574	3,8	0,9083	0,266	6,8	0,934	0,161
1,65	0,8942	0,556	3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,15

**Annexe B. Les valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme**

## Références bibliographique

- [1]: (AFNOR), Association française de normalisation.
- [2] :Pr. Abderrazek, DJEBALA. Cours de diagnostic et surveillance. Université de Guelma, Algérie., 2020-2021.
- [3] : afnor-Nakajima, s. La maintenance productive totale. 1986.
- [4] : Ishikawa, Kaoru. La gestion de la qualité. s.l. : L'usine nouvelle, 2007.
- [5] : Chauvel, A.M. Méthodes et outils pour résoudre un problème. 1996.
- [6.] : boucly, Francis. Le management de la maintenance. [éd.] AFNOR. 2007.
- [7] : Service public fédéral emploi travail et concertation social. L'ANALYSE DES RISQUES. rue Ernest Blerot 1 1070 Bruxelles. : s.n., Mai 2006. D/2006/1205/17.
- [8] : la norme NF EN 50126. s.l. : AFNOR.
- [9] : infraspeak. <https://blog.infraspeak.com>. [En ligne] 2015.
- [10] : Ahmed, BELLAOUAR. FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE. CONSTANTINE : Faculté des Sciences de la Technologie Département Génie des transports, 11/2013.
- [11] : Documentation interne de la complexe SIDER.ELHADJAR (LAC)
- [12] : Document d'historique de service maintenance de LAC
- [13] : Catalogue FLOWSERVE, MANUEL D'UTILISATION LNN, LNNV et LNNC FRANCAIS 715769075 11-09
- [14]: Pump Hetbook, 3rd edition, Igor J. Karassik et al, McGraw-Hill Inc., New York, 2001
- [15]: <https://www.faure-technologies.com/les-pompes-hydrauliques>
- [16] : C. OULDLAHOUCINE Cours de Turbomachines, Université de Guelma, 2019-2020
- [17] :<https://www.gardnerdenver.com/fr-dz/knowledge-hub/articles/centrifugal-pump-technology-explained>
- [18] : SELAMI Oussama Etude de la maintenance basée sur la fiabilité (RCM) et analyse de risques de défaillances de la pompe centrifuge MP76 de la RA1K (Raffinerie Skikda), Projet de fin d'étude Master, Université de Guelma 2021.
- [19] : MOUMENE SALAH EDDINE. Etude et Maintenance des pompes centrifuges industrielles. Mémoire fin d'étude Master 2. Université d'ANNABA 2019.
- [20] : PASCAL BIGOT Document pdf sur net « Les pompes».
- [21] : Jean Marie AUBERVILLE .Livre Maintenance industrielle.